This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

Über dieses Buch

Dies ist ein digitales Exemplar eines Buches, das seit Generationen in den Regalen der Bibliotheken aufbewahrt wurde, bevor es von Google im Rahmen eines Projekts, mit dem die Bücher dieser Welt online verfügbar gemacht werden sollen, sorgfältig gescannt wurde.

Das Buch hat das Urheberrecht überdauert und kann nun öffentlich zugänglich gemacht werden. Ein öffentlich zugängliches Buch ist ein Buch, das niemals Urheberrechten unterlag oder bei dem die Schutzfrist des Urheberrechts abgelaufen ist. Ob ein Buch öffentlich zugänglich ist, kann von Land zu Land unterschiedlich sein. Öffentlich zugängliche Bücher sind unser Tor zur Vergangenheit und stellen ein geschichtliches, kulturelles und wissenschaftliches Vermögen dar, das häufig nur schwierig zu entdecken ist.

Gebrauchsspuren, Anmerkungen und andere Randbemerkungen, die im Originalband enthalten sind, finden sich auch in dieser Datei – eine Erinnerung an die lange Reise, die das Buch vom Verleger zu einer Bibliothek und weiter zu Ihnen hinter sich gebracht hat.

Nutzungsrichtlinien

Google ist stolz, mit Bibliotheken in partnerschaftlicher Zusammenarbeit öffentlich zugängliches Material zu digitalisieren und einer breiten Masse zugänglich zu machen. Öffentlich zugängliche Bücher gehören der Öffentlichkeit, und wir sind nur ihre Hüter. Nichtsdestotrotz ist diese Arbeit kostspielig. Um diese Ressource weiterhin zur Verfügung stellen zu können, haben wir Schritte unternommen, um den Missbrauch durch kommerzielle Parteien zu verhindern. Dazu gehören technische Einschränkungen für automatisierte Abfragen.

Wir bitten Sie um Einhaltung folgender Richtlinien:

+ *Nutzung der Dateien zu nichtkommerziellen Zwecken* Wir haben Google Buchsuche für Endanwender konzipiert und möchten, dass Sie diese Dateien nur für persönliche, nichtkommerzielle Zwecke verwenden.

+ *Keine automatisierten Abfragen* Senden Sie keine automatisierten Abfragen irgendwelcher Art an das Google-System. Wenn Sie Recherchen über maschinelle Übersetzung, optische Zeichenerkennung oder andere Bereiche durchführen, in denen der Zugang zu Text in großen Mengen nützlich ist, wenden Sie sich bitte an uns. Wir fördern die Nutzung des öffentlich zugänglichen Materials für diese Zwecke und können Ihnen unter Umständen helfen.

+ *Beibehaltung von Google-Markenelementen* Das "Wasserzeichen" von Google, das Sie in jeder Datei finden, ist wichtig zur Information über dieses Projekt und hilft den Anwendern weiteres Material über Google Buchsuche zu finden. Bitte entfernen Sie das Wasserzeichen nicht.

+ *Bewegen Sie sich innerhalb der Legalität* Unabhängig von Ihrem Verwendungszweck müssen Sie sich Ihrer Verantwortung bewusst sein, sicherzustellen, dass Ihre Nutzung legal ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass ein Buch, das nach unserem Dafürhalten für Nutzer in den USA öffentlich zugänglich ist, auch für Nutzer in anderen Ländern öffentlich zugänglich ist. Ob ein Buch noch dem Urheberrecht unterliegt, ist von Land zu Land verschieden. Wir können keine Beratung leisten, ob eine bestimmte Nutzung eines bestimmten Buches gesetzlich zulässig ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass das Erscheinen eines Buchs in Google Buchsuche bedeutet, dass es in jeder Form und überall auf der Welt verwendet werden kann. Eine Urheberrechtsverletzung kann schwerwiegende Folgen haben.

Über Google Buchsuche

Das Ziel von Google besteht darin, die weltweiten Informationen zu organisieren und allgemein nutzbar und zugänglich zu machen. Google Buchsuche hilft Lesern dabei, die Bücher dieser Welt zu entdecken, und unterstützt Autoren und Verleger dabei, neue Zielgruppen zu erreichen. Den gesamten Buchtext können Sie im Internet unter `http://books.google.com` durchsuchen.

LANE MEDICAL LIBRARY STANFORD
B73 .U37 1867
STOR
Populare Naturlehre (Physik), oder, Die
24503283490

1 Post Street,
N FRANCISCO.

DR. H. O. VON DER LEITH
PHYSICIAN & SURGEON

LANE
MEDICAL LIBRARY
SEAL OF THE LELAND STANFORD JUNIOR UNIVERSITY
SEMPER VIRENS
1885
Gift
Dr.H.O.Von der Leith

Populäre Naturlehre

(Physik)

oder die

Lehre von den Bewegungen in der Natur
und von den Naturkräften im Dienste des Menschen.

edermann faßlich dargestellt

von

Dr. Otto Ule,

Mitherausgeber der „Natur", Mitglied der Kaiserl. Leopoldino-Caroliniſchen deutſchen Akademie der Naturforſcher und anderer gelehrten Geſellſchaften.

Mit zahlreichen Holzſchnitten.

Leipzig

Verlag von Ernſt Keil.

1867.

Populäre Naturlehre

(Physik)

oder die

Lehre von den Bewegungen in der Natur und von den Naturkräften im Dienste des Menschen.

Für Jedermann faßlich dargestellt

von

Dr. Otto Ule,

Mitherausgeber der „Natur", Mitglied der Kaiserl. Leopoldino-Carolinischen deutschen Akademie der Naturforscher und anderer gelehrten Gesellschaften.

Mit zahlreichen Holzschnitten.

Leipzig

Verlag von Ernst Keil.

1867.

LANE LIBRARY

u37
1867

Vorwort.

Angeregt durch die glänzenden, so tief in das Leben der Völker eingreifenden, Sitten und Anschauungen umgestaltenden Entdeckungen der Gegenwart, wird so Mancher von dem Verlangen beseelt, ein Verständniß derjenigen Wissenschaft zu gewinnen, von welcher die meisten jener Entdeckungen ausgingen. Aber nur zu häufig wird er dann durch den trockenen Ton zurückgeschreckt, mit welchem die Physik namentlich in Lehr- und Handbüchern vorgetragen zu werden pflegt, die selbstverständlich auch noch jenes Reizes der Anschauung entbehren müssen, welchen das Experiment dem mündlichen Vortrage verleiht. Dieser Gedanke war es zunächst, welcher das Erscheinen dieses Buches veranlaßte, das ein freundlicher und, so weit es möglich, unterhaltender Führer durch das dornenvolle, aber zugleich so anziehende Gebiet der Naturlehre sein will. Aber noch ein zweiter Gedanke liegt diesem Buche zu Grunde. Es soll den Leser mit jener großartigen Anschauung bekannt machen, die sich in neuester Zeit der physikalischen Forschung bemächtigt hat, mit jenem neuen allgemeinen Naturgesetze, welches nicht mehr vereinzelte, wohl gar an besondere, unwägbare Stoffe gebundene Kräfte bestehen läßt, sondern das gesammte Wirken aller Naturkräfte in ihren wechselseitigen Beziehungen durchdringt und beherrscht, alle Erscheinungen nur als Verwandlungsformen einer Kraft oder einer Bewegung darstellt. Dieses Gesetz, das von eben so großer Bedeutung für unsere theoretische Auffassung

106878

der Naturprocesse, als für die technische Anwendung derselben ist, in das allgemeine physikalische Lehrgebäude einzuführen, war freilich mit nicht geringen Schwierigkeiten verbunden. Es bedingte wesentliche Abweichungen von der seither üblichen Anordnung des Stoffes, namentlich eine strenge Scheidung der eigentlichen Bewegungslehre und der Lehre von der Verwandlung der Bewegungsformen. Daß mir diese Umgestaltung bereits vollkommen gelungen sei, wage ich nicht zu behaupten. Am wenigsten darf der Abschnitt, welcher von der Verwandlung der Kräfte handelt, auf Vollständigkeit Anspruch machen, theils schon deshalb nicht, weil die Rücksicht auf das allgemeine Verständniß manches dahin Gehörige ausschloß, theils aber noch mehr, weil die Forschung selbst noch bei weitem nicht überall den Schleier hinreichend gelüftet hat.

Möge man dies Buch daher als einen ersten Versuch betrachten, den neuen Standpunkt der physikalischen Wissenschaft auch dem Laien gegenüber zur Geltung zu bringen, und mögen andere glücklichere Versuche ihm nachfolgen. Ist es mir nur gelungen, das Verständniß der Physik und des neuen Geistes, der sie durchweht, weiteren Kreisen zu vermitteln, so bürgt mir das rege Interesse an dieser Wissenschaft dafür, daß meine Arbeit keine vergebliche war.

Halle an d. S., den 25. December 1866.

Dr. Otto Ule.

DR. H. O. VON DER LIETH
PHYSICIAN & SURGEON

Inhalt.

Einleitung 1.

Erster Abschnitt. Die allgemeinen Bewegungserscheinungen. (Mechanik.)

Erstes Kapitel. Die allgemeinen Eigenschaften der Körper 7.

Zweites Kapitel. Bewegung und Gleichgewicht 12.

Drittes Kapitel. Das Gleichgewicht und die Bewegung fester Körper 18. Das Kräfteparallelogramm 20. Keil und Schraube 25. Der Hebel 36. Die Wage 41. Rolle und Wellrad 50. Fall und Wurfbewegung 56. Das Pendel 72.

Viertes Kapitel. Das Gleichgewicht und die Bewegung flüssiger Körper 93. Tropfen und Strahl 93. Der Druck der Flüssigkeiten 95. Die Bewegung flüssiger Körper 99. Der Gewichtsverlust fester Körper in Flüssigkeiten 104. Die Adhäsions- und Cohäsionserscheinungen der Flüssigkeiten 112. Die Endosmose 118.

Fünftes Kapitel. Das Gleichgewicht und die Bewegung luftförmiger Körper 122. Der Luftdruck 122. Heber und Pumpen 132. Luftverdichtung und Luftverdünnung 140. Der Flug des Vogels und der Luftballon 152. Diffusion der Gase 162.

Zweiter Abschnitt. Die Erscheinungen der Wellenbewegung. (Schall, Wärme und Licht.)

Erstes Kapitel. Die allgemeinen Gesetze der Wellenbewegung 166. Die Interferenz der Wellen 171. Zurückwerfung und Bewegung der Wellen 174. Die Meereswellen 179.

Zweites Kapitel. Die Schallwellen 183. Schwingungen in elastischen Körpern 183. Die Luftschwingungen 187. Geschwindigkeit und Fortpflanzung des Schalls 190. Die Stärke des Schalls 192. Die Zurückwerfung der Schallwellen 197. Die Brechung der Schallwellen 199. Die Beugung der Schallwellen 202. Die Interferenz der Schallwellen 204.

Drittes Kapitel. Die Lichtwellen 206. Die Theorie des Lichts 206. Die Geschwindigkeit des Lichts 212. Die Intensität des Lichts und die Photometrie 217. Die Zurückwerfung des Lichts 219. Die Brechung des Lichts 229. Die totale *Reflexion 233. Die Lichtbrechung* in Prismen und Linsen 237.

Viertes Kapitel. Die Wärmewellen 249. Das Wesen der Wärme und ihre Wirkung 249. Das Thermometer 252. Ausdehnungserscheinungen 257. Wärmeleitung 261. Die Meeresströmungen 264. Die Luftströmungen 269. Die Wärmestrahlung 279.

Fünftes Kapitel. Töne und Klänge 288. Tonerregende Schwingungen 288. Die Intervalle 293. Nebentöne und Consonanz 300. Klangfarbe 304. Resonanz 308. Stöße und Combinationstöne 311. Musikalische Instrumente 312. Die menschliche Stimme 319.

Sechstes Kapitel. Die Farben 323. Die Farbenzerstreuung des Lichts 325. Einfache und gemischte Farben 329. Das Blau des Himmels und das Abend- und Morgenroth 333. Der Regenbogen 335. Der Achromatismus 339. Die natürlichen Farben der Körper 343. Die Farben dünner Blättchen 345. Die Fraunhofer'schen Linien und die Spectralanalyse 352. Interferenz- und Beugungserscheinungen 362. Die Fluorescenz und die übervioletten Strahlen 367. Die Phosphorescenz 378.

Siebentes Kapitel. Die Wärmefarben 384.

Achtes Kapitel. Die doppelte Brechung und die Polarisation des Lichts und der Wärme 392. Die doppelte Brechung 392. Die Polarisation des Lichts 394. Polarisationswinkel und Polarisationsapparate 397. Die farbige Polarisation 401. Theorie der doppelten Brechung und der Polarisation 406. Die Polarisation der Wärmewellen 413.

Dritter Abschnitt. Die magnetischen und elektrischen Erscheinungen 416.

Erstes Kapitel. Der Magnetismus 417. Magnetische Anziehung und Abstoßung 417. Magnetische Vertheilung 419. Der Diamagnetismus 423. Der Erdmagnetismus 425.

Zweites Kapitel. Die Elektricität 432. Leitung und Isolirung 433. Anziehung und Abstoßung 435. Die Elektrisirmaschine 436. Verbreitung der Elektricität 444. Die elektrische Vertheilung und der Elektrophor 448. Die elektrische Flasche 452. Elektroskope und Condensator 459. Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Elektricität 461. Die atmosphärische Elektricität 464.

Drittes Kapitel. Der Galvanismus 471. Die Entdeckungen Galvani's und Volta's 471. Galvanische Ketten 473. Constante Ketten 478. Die Wirkungen des Galvanismus 482.

Viertes Kapitel. Der Elektromagnetismus 488. Der Oersted'sche Fundamentalversuch 488. Der Multiplicator und das Ohm'sche Gesetz 491. Elektromagnete 494. Die gegenseitige Wirkung elektrischer Ströme und die Ampère'sche Theorie 496.

Fünftes Kapitel. Die elektrische und magnetische Induction 500. Die elektrische Induction 500. Die magnetische Induction 508.

Vierter Abschnitt. Die physikalischen Verwandlungserscheinungen oder die Wechselwirkung der physikalischen Kräfte.

Erstes Kapitel. Die Arbeit in der Natur und die Wechselwirkung der Kräfte 514.

Zweites Kapitel. Die Verwandlungserscheinungen der mechanischen Bewegung 526. Die Verwandlung der mechanischen Bewegung in Wärme und Licht 527. Die Verwandlung der Bewegung in Elektricität 533.

Drittes Kapitel. Die Verwandlungserscheinungen der Wärme 536. Die latente Wärme bei Veränderung der Aggregatzustände 538. Die mechanische Wirkung der Wärme 550. Die Dampfmaschine 560. Die specifische Wärme 577. Wechselbeziehungen zwischen Wärme und Licht 582. Verwandlung der Wärme in Elektricität und Magnetismus 587. Die chemischen Wirkungen der Wärme 592. Die chemischen Wirkungen des Lichts und die Photographie 594.

Viertes Kapitel. Die Verwandlungserscheinungen der Elektricität und des Magnetismus 610. Mechanische Wirkungen der Elektricität und des Magnetismus 615. Der Elektromagnetismus als Triebkraft 620. Die elektrische Telegraphie und die elektrischen Uhren 624. Verwandlung elektrischer und magnetischer Kraft in Wärme und Licht 641. Die chemischen Wirkungen der Elektricität und die Galvanoplastik 647.

Fünftes Kapitel. Die Verwandlungserscheinungen der chemischen Kraft 651. Umwandlung chemischer Kraft in Elektricität 651. Die thierische Elektricität 654. Verbrennungswärme und thierische Wärme 659.

Sechstes Kapitel. Die Verwandlung physikalischer Kräfte in Sinnesempfindungen 662. Das Gehörorgan 663. Das Sehorgan 667. Die Verwandlung der Kräfte im Organismus 672.

Einleitung.

Wenn die schönen Künste die Sitten mildern und das Andenken an die großen Thaten der Vorzeit verewigen, wenn die Literatur die Sprache, das Organ des Menschengeistes, bildet und dadurch die Gedankenwelt bereichert und entwickelt, wenn die Geschichte den Völkern den Spiegel vorhält und sie die ewigen Gesetze erkennen lehrt, nach denen das Menschenleben im Großen sich gestaltet; so ist es die Naturwissenschaft, welche die Anschauung des Menschen erweitert, indem sie ihm geheimnißvolle Tiefen öffnet, welche das Sittengesetz in seiner Brust heiligt, indem sie ihn die Uebereinstimmung mit jenem Gesetze kennen lehrt, das alle Welten zusammenhält, welche den Künsten und Gewerben endlich die sichere Grundlage gewährt, indem sie ihnen die Zauberkräfte der Natur dienstbar macht. Es gibt keine umfassendere Wissenschaft und keine, deren letztes Ziel erhabener wäre, als die Wissenschaft der Natur. Das ganze Bereich des Sinnlich-Wahrnehmbaren ist ihr Gebiet, das Gesetz alles Werdens und Seins, das Ewige im Wandelbaren, die Einheit in der Mannigfaltigkeit der Erscheinungen, den Urgedanken der Schöpfung zu erkennen, ihr Ziel.

Es gibt nur Eine Naturwissenschaft, und sie war ungetheilt viele Jahrhunderte hindurch, so lange sie arm war. Seit sie aber reich geworden ist, seit in so staunenerregendem Maße die Summe

der beobachteten und erkannten Naturerscheinungen angewachsen, daß es für den Einzelnen unmöglich geworden ist, das Ganze zu umfassen, seitdem hat man sich genöthigt gesehen, die Naturwissenschaft in mehrere Zweige oder Fächer zu theilen. Diese Fächer sind aber nicht etwa neben einander liegende, scharf abgegrenzte Felder eines Mosaiks; die Theilung hat vielmehr keinen andern Sinn und Zweck, als den einer vorläufigen Arbeitstheilung. Die Natur gleicht einem bunten Gewebe tausender durch einander laufender Fäden. Der Einzelne vermag nicht alle diese Fäden gleichzeitig zu verfolgen. Aber wer dem einen Faden sorgfältig nachging, der trifft sicher früher oder später wieder mit Denen zusammen, die anderen Fäden folgten, und staunend erfreuen sich Alle der Einheit des Zieles trotz der verschiedenen Wege.

Es ist ganz natürlich, daß man bei einer solchen Theilung darauf bedacht ist, möglichst alles Gleichartige zusammen zu fassen, um es als ein besonderes Gebiet anzubauen. Man unterschied darum zunächst alle Naturdinge in leblose und belebte und die letzteren wieder in Pflanzen und Thiere. Man hatte es dann innerhalb dieser Gebiete nur mit der Form zu thun, danach die Einzeldinge zu scheiden, in Gruppen zu ordnen und aus einander zu entwickeln. Mit Recht nennt man darum diese Wissenschaft Naturbeschreibung oder Naturgeschichte. Aber man konnte dabei nicht stehen bleiben. Wenn man auch mit dem Messer diese Naturdinge zergliederte und in ihre einzelnen Formbestandtheile, selbst bis zu den kleinsten, nur unter der Lupe oder dem Mikroskop sichtbaren, zerlegte, so vermochten doch schon über die Lebenserscheinungen und ihre Ursachen weder Messer noch Lupe Auskunft zu geben. Der Mineralog mag im Stande sein, durch Härte, Dichtigkeit, Krystallform ein Mineral noch in seinen feinsten Splittern zu erkennen; sein Hammer und seine Lupe sagen ihm nichts mehr über die Veränderungen, die es in Berührung mit Säuren, die es im Feuer, die es selbst an der Luft allmälig erleidet. Was wird aus dem Eisen, wenn es sich mit braunem Roste

überzieht, aus der Kreide, wenn sie nach heftigem Glühen im Feuer, mit einigen Tropfen Wasser benetzt, zischend sich aufbläht und in ein weißes, mehlartiges, ätzendes Pulver zerfällt? Was wird aus den zahllosen thierischen und pflanzlichen Gebilden, welche wir alljährlich entstehen und wieder sterben, vermodern, vergehen sehen? Was wird aus den Millionen Centnern von Holz und Kohle, die wir Jahr aus Jahr ein dem Ofen übergeben? Solche Fragen drängen sich auf, und mit ihnen beginnt eine neue Wissenschaft. Die Form ist entschwunden, der Stoff wird Gegenstand der Untersuchung. Der Zellsaft und das Blut der getödteten Pflanzen und Thiere, das geglühte oder in Säure aufgelöste Mineral entziehen sich der Forschung des Botanikers, des Zoologen, des Mineralogen. Die Naturbeschreibung hört auf; es beginnt die Wissenschaft des Stoffes, die Chemie.

Wenn die Naturbeschreibung es nur mit der Form zu thun hatte, so hat die Chemie die Wandlungen in der Natur zu verfolgen, welche durch die Verbindung und Trennung der Stoffe bewirkt werden. Aber in diesem Wirken der Stoffe auf einander liegt bereits eine Bewegung ausgesprochen. Freilich ist diese Bewegung noch keine den Sinnen unmittelbar wahrnehmbare; sie ist eine innerliche, auf welche nur aus dem Verschwinden der Form, aus wesentlichen Veränderungen in der Erscheinungs- und Wirkungsweise eines Körpers geschlossen werden muß. Aber es gibt noch andere äußerlich hervortretende Bewegungen der mannigfaltigsten Art, von dem fallenden Steine und dem kreisenden Himmelskörper, von dem brausenden Fluge der Locomotive und dem rauschenden Bache bis zu den zarten Schwingungen der Wärme, des Lichts, der electrischen Strömungen. Sie sind es gerade, die in der Natur neben den Formen uns am frühesten in's Auge fallen; ja sie sind es, durch die überhaupt die Körperwelt unsern Sinnen sich wahrnehmbar macht. Die Erforschung dieser Bewegungen ist der Gegenstand der Naturlehre im engeren Sinne oder der Physik.

Das Gebiet der Physik erstreckt sich, so weit es Bewegung gibt. Der Blick des Physikers ist darum nicht an die Erdscholle gebannt, er erhebt sich zu den unendlichen Räumen, aus denen Myriaden von Welten zu uns hernieder funkeln. Ihm entgeht so wenig die Verzögerung des Lichts der Jupiterstrabanten auf dem Wege zur Erde, als das bunte Farbenspiel im Flügel des Insekts. Er verfolgt die Erscheinungen der gegenseitigen Anziehung, welche Welten wie Atome an einander kettet und von einander fern hält, ebenso im Kreislaufe der Gestirne, wie im geschleuderten Steine; er wägt den Sonnenball ebenso, wie das Staubkörnchen oder die Luftblase, und mißt die vom Erdkörper ausgestrahlte Wärme ebenso, wie die eines kleinen Insekts.

Die Bewegungen in der Natur aufzusuchen, sie zu messen, nach Gesetzen zu ordnen, zu erklären, ist die Aufgabe des Physikers. Jede Bewegung geschieht in Raum und Zeit; darum müssen auch Zahl und Maß auf sie Anwendung finden. Freilich ist das nicht immer leicht. Das ungeübte Auge erkennt oft nicht die Bewegung als solche, weil sie in unmeßbar kleinen Zeit- oder Raumgrößen vor sich geht; Licht- oder Wärmewellen weist selbst kein Mikroskop nach. Der gewöhnliche Beobachter sieht nur Erscheinungen. Der Physiker dagegen ersinnt Meßinstrumente, welche ihm die Erscheinungen in Bewegungen verwandeln. Selbst der Gedanke ist in seine Gewalt gegeben, seit er die Zeit messen gelernt hat, welche die Empfindung auf dem Wege vom gereizten Nerv zum Gehirn, und der Wille von da zum vollziehenden Muskel durchläuft.

So mannigfaltig die Erscheinungen in der Natur sind, so lassen sie sich doch auf gewisse einfache Gruppen von Bewegungen zurückführen. Unter gleichen Umständen, gleichen Bedingungen kehren stets die gleichen Erscheinungen wieder. Dieses Unveränderliche in dem bunten Wechsel der Erscheinungen, dieses Gemeinsame in den zahllosen Einzelnheiten ist das Naturgesetz. Es ist an sich ewig, denn es ist die Vernunft in den Dingen. Aber

in seiner Vollkommenheit kann es nur erkannt werden, wenn nicht blos eine große, sondern wenn die gesammte Zahl der Bedingungen erforscht ist, unter welchen dieselben Bewegungen wiederkehren. Darum darf sich der Physiker nicht damit begnügen, möglichst viele Erscheinungen beobachtet zu haben, sondern er muß selbst Erscheinungen hervorrufen, Veränderungen in den Bewegungen herbeiführen unter Umständen und Bedingungen, die er selbst willkürlich geschaffen hat, und die ihm also genau bekannt sind. Er muß mit einem Worte Versuche, Experimente anstellen, um die Allgemeinheit und damit die Wahrheit des Naturgesetzes zu erweisen. So lange das Naturgesetz sich nur auf eine beschränkte Anzahl von Fällen bezieht, so lange es nur die Einheit und den Zusammenhang einer gewissen Gruppe von Erscheinungen, nicht aller und unter allen Umständen, ausdrückt, bleibt es nur eine vermuthete Wahrheit, eine Hypothese.

Der Physiker erkennt endlich, daß alle Erscheinungen in der Natur als Bewegungen eine zusammenhängende Kette von Ursachen und Wirkungen bilden, daß immer eine die andere hervorruft, eine die andere bedingt. Er ist darum bemüht, jede Erscheinung auf eine letzte Ursache zurückzuführen, und meint sie damit zu erklären. Er nennt diese letzte Ursache Kraft. Aber die Kraft ist in Wirklichkeit keineswegs die Ursache der Bewegung selbst, sondern nur die Ursache einer veränderten Bewegung. Es gibt keinen Anfang der Bewegung in der Natur, sondern überall gewahrt man nur Wechselwirkungen. Die Wärme wird zum Licht, zur Ausdehnung, zur mechanischen Bewegung. Gleichwohl bezeichnet man sie als die Kraft, welche diese Bewegungen hervorgerufen. Kraft ist also nur ein Name für die Ursache einer Veränderung, welche man bei oberflächlicher Betrachtung für eine neue Bewegung hält, wenn sie nicht gar zum Namen für völlig unbekannte und unerklärliche Ursachen wird, die keine Erfahrung zu geben vermag, die aber der Gedanke fordert. So wird die Anziehung als *eine Kraft bezeichnet*, welche die Schwere und den

Fall der Körper erklären soll; aber das Wesen dieser Anziehung kennt Niemand.

Die Physik oder Naturlehre ist also im eigentlichen Sinne Bewegungslehre. Sie findet darum überall ihre Grenzen, wo ihr ein Anfang der Bewegung entgegentritt oder vielmehr entgegenzutreten scheint, sei es in der Lebensthätigkeit der Organismen oder in dem nicht minder geheimnißvollen Wechselwirken der Stoffe, in dem Chemismus. Diese Grenzen sind freilich nur scheinbare und zeitweilige; sie erweitern sich in demselben Maße, als die Beobachtungskunst an Schärfe und Feinheit wächst.

Erster Abschnitt.

Die allgemeinen Bewegungserscheinungen.

(Mechanik.)

Erstes Kapitel.

Die allgemeinen Eigenschaften der Körper.

Die Naturlehre hat es mit der bewegten Körperwelt zu thun. Als *Körper* aber bezeichnen wir jeden erfüllten und begrenzten Raum, während wir das, was den Raum erfüllt, *Stoff* oder *Materie* nennen. An diesen Begriff der Raumerfüllung knüpfen sich nun mehrere Erscheinungen, die man als *allgemeine Eigenschaften der Körper* zu bezeichnen pflegt. Die genaue Kenntniß derselben kann freilich erst durch die ganze Wissenschaft selbst gewonnen werden, da sie mit den gesammten Erscheinungen der Natur in innigem Zusammenhange stehen und erst in diesem Zusammenhange ihre volle Erklärung finden. Um des besseren Verständnisses willen ist es gleichwohl nöthig, von diesen sogenannten allgemeinen Eigenschaften im Voraus eine kurze Erläuterung zu geben.

Einen Raum erfüllen heißt zugleich einen Widerstand leisten gegen das Eindringen eines andern Raumerfüllenden. Ein Körper kann wohl mit einer gewissen Gewalt aus dem von ihm eingenommenen Raume verschoben werden, aber niemals können zwei Körper sich zugleich in demselben Raume befinden. Ein Stein, den wir in ein gefülltes Glas Wasser werfen, bringt es zum Ueberfließen. Das Geröll, das die Flüsse von den Gebirgen mit sich fortführen, erhöht ihr Bett und ihren Spiegel und zwingt uns, ihre schützenden Dämme zu erhöhen. Vermag ein Körper nicht auszuweichen, so setzt er dem Angriffe Widerstand entgegen. Wir empfinden das an unserem eignen Körper bei

jedem Stoß und Schlag; wir erfahren es an anderen durch das Betasten. Auf diesem Widerstande der Körper gegen andere beruht die Sicherheit, mit welcher wir uns auf dem festen Erdboden bewegen, und mit welcher wir uns im Schiffe von den Wellen des Oceans hoch über die Klippen des Grundes tragen lassen. Es beruht darauf der Schutz, welchen Dämme gegen Ueberfluthungen des Stromes, oder die Wände des Hauses gegen die rauhe Winterluft gewähren. Es beruht darauf jener sturmartige Luftzug, den wir empfinden, wenn wir vom Dampfe gezogen die Luft durchschneiden. Man bezeichnet diese raumerfüllende Eigenschaft der Körper gewöhnlich als Undurchdringlichkeit. Viel richtiger noch würde man sie eine Ausdehnungskraft nennen, da sie sich als ein sehr thätiger Widerstand äußern kann. Wir erfahren diesen thätigen Widerstand, wenn wir es versuchen, Körper zusammenzudrücken. Wenn man ein umgestürztes leeres Glas vorsichtig unter das Wasser drückt, so bleibt es leer; denn die Luft, welche es bereits erfüllt, vermag nicht auszuweichen. Drückt man das Glas sehr tief unter das Wasser, so wird man allerdings finden, daß das Wasser ein wenig in das Gefäß eingedrungen ist, also einen kleinen Theil des von der Luft erfüllten Raumes eingenommen hat. Die Luft ist zusammengedrückt worden. Das empfindet der Perlenfischer, wenn er in der Taucherglocke auf den Grund des Meeres niedersteigt, an der Erschwerung des Athmens. Verstärkt man den Druck weiter, schließt man etwa die Luft in eine starke Röhre ein und preßt sie dann durch einen Kolben mit großer Gewalt zusammen, so wird man eine Grenze finden, wo die Luft ihr Recht wieder geltend macht und die Wände des Gefäßes, und wären sie noch so stark, zertrümmert. Der Widerstand wächst also mit dem Drucke. Hört die drückende Kraft zu wirken auf, so dehnt sich der Körper genau wieder zu seinem früheren Raume aus. Ausnahmen, wo der Widerstand fehlt, oder wo ein Körper bleibend zusammengedrückt wird, sind nur scheinbare; sie beruhen auf einer durch den starken Druck bewirkten Zerstörung des innern Baues der Körper.

Eine andere wesentliche Eigenschaft des Raumes und damit auch der Körper ist die Theilbarkeit. Jeder Körper ist theilbar, die Luft, die wir beim Spaziergange durchschneiden, so gut als das Stück Kreide, das wir zertreten, oder das Eisen, das unter dem Hammer in Funken zersprüht. Aber diese Theilbarkeit erreicht zuweilen einen staunenerregenden Grad. Der feine Golddraht, der zu Spitzengeweben benutzt wird, ist aus einer vergoldeten Silberstange ausgezogen

worden. Aus dem Gewichte des verbrauchten Goldes und der Länge und Dicke des Drahtes kann man berechnen, daß die Dicke der Vergoldung nicht mehr als den 345,000sten Theil einer Linie beträgt. Am feinsten ist die Vertheilung bei färbenden und riechenden Stoffen. Ein Körnchen Karmin färbt mehr als 100,000 Wassertropfen, und das kleinste Stückchen Moschus kann Jahre lang ein Zimmer mit seinem Geruche erfüllen. Die Nähe der Gewürzinseln verräth sich dem Seefahrer meilenweit, ehe selbst das Fernrohr sie erreicht, durch das Arom, mit welchem sie die Luft erfüllen.

Wenn aber auch alle Körper aus Theilen bestehen, so setzen sie doch der Trennung oder Verschiebung dieser Theile einen gewissen Widerstand entgegen. Diesen Widerstand, den man auch die Zusammenhangskraft der Körper nennt, ist aber ein sehr verschiedener und bedingt dadurch eigenthümliche Zustände der Körper, welche man Aggregatzustände nennt. Man bezeichnet diejenigen Körper, welche einer Verschiebung ihrer Theile einen sehr beträchtlichen Widerstand entgegensetzen, als feste und unterscheidet sie wieder als hart oder weich, je nachdem eine größere oder geringere Kraft erforderlich ist, die Verschiebung zu bewirken; als spröde oder dehnbar, je nachdem eine Zerreißung mit der Verschiebung der Theile verbunden ist oder nicht. Körper, deren Theile mit der größten Leichtigkeit über einander hingleiten, heißen flüssige; solche, die überdies das Bestreben zeigen, bei aufgehobenem Drucke sich in endlose Räume auszudehnen, während sie sich umgekehrt mit geringer Kraft merklich zusammen drücken lassen, werden luftförmige Körper genannt. Diese luftförmigen Körper unterscheidet man wieder als Dämpfe und Gase, je nachdem ein geringer oder ein sehr hoher Druck erforderlich ist, sie in den flüssigen Zustand zurückzuführen. Keiner dieser Aggregatzustände kommt aber irgend einem Stoffe oder Körper ausschließlich zu; vielmehr kann jeder Körper alle diese drei Zustände nach einander durchlaufen. So gut das flüssige Wasser zu Zeiten als festes Eis oder als flüchtiger Dampf erscheinen kann, so lassen sich auch der Schwefel, der Phosphor und die meisten Metalle durch alle diese Zustände hindurch führen, und wenn es auch noch nicht gelungen ist, jede Luftart fest oder flüssig, jeden festen Körper flüssig oder luftförmig darzustellen, so liegt es nur daran, daß man entweder nicht im Stande war, die erforderliche Temperatur hervorzubringen, oder daß die Körper bei gewissen Temperaturen chemische Umwandlungen erleiden. Wir werden später sehen, daß die Wärme bei diesen Aggregatzuständen eine wesent-

liche Rolle spielt, wie wir uns überhaupt überzeugen werden, daß damit ein eigenthümlicher Bewegungszustand verbunden ist, daß sogar bei dem Uebergange aus dem flüssigen in den festen Zustand eine innerliche Gestaltung stattfindet, die auch bei dem Uebergange vom luftförmigen zum flüssigen Zustande nicht ganz fehlen dürfte.

Der Widerstand, welchen ein Körper der Verschiebung seiner Theile entgegensetzt, ist ebenso ein thätiger, wie derjenige, durch welchen er seinen Raum einem fremden Drucke gegenüber behauptet. Dies gibt sich in der Thatsache zu erkennen, daß jeder Körper, der eine gewaltsame Veränderung in der Lage seiner Theile erfahren hat, bei nachlassendem Drucke seine Gestalt wieder herzustellen strebt. Wir bezeichnen diese allen Körpern gemeinsame Widerstandskraft als Elasticität oder Federkraft. Vollkommen elastisch würde ein Körper sein, welcher vollständig und mit derselben Kraft, mit welcher er gedrückt worden ist, seine vorige Gestalt wieder herstellte. Nur die luftförmigen Körper kommen dieser Vollkommenheit nahe. Wenn wir unter den festen Körpern aber nur einzelne, wie den Kautschuk, das Fischbein, den Stahl, als elastisch, andere dagegen, wie das Glas, geradezu als unelastisch zu bezeichnen pflegen, so beruht dieser scheinbare Mangel an Elasticität nicht auf einer Grundbeschaffenheit der Körper, sondern nur auf einer eigenthümlichen Aneinanderlagerung ihrer Theile. Auch die unelastischesten Körper zeigen in sehr kleinen Theilen oft eine bedeutende Federkraft. So ist das spröde Glas, in feine Fäden ausgezogen, so elastisch, daß es selbst zu Kleiderstoffen verwebt worden ist. Uebrigens könnten uns die alltäglichsten Erfahrungen überzeugen, daß die Elasticität eine allgemein verbreitete Eigenschaft ist. Wären Feder und Papier nicht elastisch, wie träge würden unsere Gedanken auf das Papier fließen! Wären es unsere Gläser und Teller nicht, wie viel kostspieliger würde manche Wirthschaft werden, da jeder Stoß sie zerbrechen würde! Wären es unsere Betten und Polster, unsere Kleider und Stiefeln nicht, wie unbequem würde jede Lage, jede Bewegung unseres Körpers sein! Wäre es das Holz nicht, bei jedem Windstoße wären wir in Gefahr, von den niederstürzenden Baumzweigen erschlagen zu werden. Am auffallendsten freilich tritt uns die Elasticität da entgegen, wo sie geradezu als bewegende Kraft benutzt wird. So hatten die Alten ihre Katapulten und Ballisten. Jene glichen ungeheuren Armbrüsten, die durch Maschinen gespannt wurden und Balken von zwei Fuß Länge über tausend Schritte weit mit solcher Kraft warfen, daß ihre eisernen Spitzen starke Mauern durchbrachen. Diese

waren hebelartig in der Mitte starker Sehnen angebrachte Balken, die centnerschwere Steine gegen den Feind schleuderten. Von der Elasticität der Sehnen machen wir zwar heute friedlichere Anwendungen; aber auch unsere heutigen Schießgewehre beruhen auf der Elasticität der Dämpfe.

Eine der wichtigsten allgemeinen Eigenschaften der Körper ist endlich die Schwere. Alle Körper sind schwer, d. h. sie haben das Bestreben, zur Erde zu fallen, und üben, wenn sie daran verhindert werden, einen Druck auf ihre Unterlage aus. Diesen Druck nennt man das Gewicht eines Körpers, und wir werden sehen, daß dieses Gewicht zugleich als Maß für die Masse des Körpers gelten kann, wenn man darunter die Menge der in demselben enthaltenen Materie versteht.

Wenn zwei Körper bei gleichem Rauminhalte ein verschiedenes Gewicht zeigen, so nennt man denjenigen, welcher das größere Gewicht besitzt, den dichteren. So sind die Metalle die dichtesten Körper; denn ein Kubikzoll Platin wiegt 21 mal, ein Kubikzoll Gold 19 mal so viel als ein Kubikzoll Wasser. Die geringste Dichtigkeit besitzen die luftförmigen Körper. Die atmosphärische Luft ist 770 mal leichter als das Wasser, und das Wasserstoffgas sogar noch 14 mal leichter als die atmosphärische Luft.

Das Bestreben, zu fallen, ist allen irdischen Körpern gemeinsam, und alle Ausnahmen sind nur scheinbare. Wenn wir das Schiff auf dem Wasser schwimmen, oder die sich vom Grunde lösende Pflanze zur Oberfläche des Wassers steigen sehen, wenn der Rauch in die Luft emporwirbelt, so ist das nur, weil Luft und Wasser vermöge ihres größeren Druckes diese Körper emordrängen und als Unterlagen tragen. Denn auch die Luft ist schwer, trägt und drückt, wie jeder andere Körper. Sie trägt die Quecksilbersäule des Barometers, sie drückt die Kugeln unserer Schenkelknochen in ihre Pfannen; ihr zunehmender Druck beängstigt das Athmen des Bergmanns in der tiefen Grube, ihr verminderter Druck treibt das Blut aus den Poren des Wanderers auf hohen Bergen. Im luftleeren Raume würden wir den Rauch so gut fallen sehen, wie das Eisen.

Die Schwere kommt aber nicht den irdischen Körpern allein zu, sondern ist eine Eigenschaft aller Materie auch in den fernsten Himmelsräumen. Wir werden sie in dieser Allgemeinheit als allgemeine Anziehung oder Gravitation kennen lernen, als die Kraft, welche nicht blos den geworfenen Stein zum Boden zurückführt

und jedes Stäubchen an die Erde fesselt, sondern welche auch Monde um Planeten und Planeten um Sonnen führt und Sonnensysteme gegen Sonnensysteme in gemessenen Räumen hält. Wir werden ferner diese Anziehung als eine gegenseitige kennen lernen, die nicht blos in dem anziehenden, sondern auch in dem angezogenen Körper wirkt, in dem fallenden Steine ebenso, wie in der anziehenden Erde, in dem Erdball ebenso, wie in der übermächtigen Sonne, allerdings im Verhältniß der Massen. Wir kennen nicht das Wesen dieser Kraft, wir kennen nur ihre Erscheinung. Aber die Allgemeinheit ihres Wirkens ist es vorzugsweise gewesen, welche die Macht der physikalischen Wissenschaft bis in die fernsten Himmelsräume getragen hat.

Zweites Kapitel.

Bewegung und Gleichgewicht.

Alles um uns ist in steter Bewegung. Es regt sich im Laube, in der Rinde des Baumes, unter dem Moose und in der Erde; Larven sprengen ihre Hüllen, Knospen durchbrechen ihre Schuppen, Blüthen öffnen sich. Wir sehen Steine rollen, Berge sich spalten, sehen die Sterne kreisen und Weltennebel sich ballen; wir hören die Winde rauschen, und die Donner des Himmels und der Erdentiefe verkünden uns oben und unten gewaltige Erschütterungen. Gewässer eilen dem Meere zu. Von der Höhe der Tafelländer oder von den Wolkengipfeln der Berge herabstürzend, gießen sie ihre unruhigen Wellen über schroffe Abhänge in die Tiefe. Kühn und übermüthig sind ihre jugendlichen Sprünge, in würdevoller Ruhe schleichen sie durch die Tiefebenen, als drücke sie die wachsende Last der Fahrzeuge auf ihrem Rücken. Auch das Meer ist nicht der Hafen der Ruhe. Die Winde erheben seine Wogen, Wärmeunterschiede erzeugen Strömungen, und Sonne und Mond ziehen, darüber hin wandernd, sein Wasser zu einer großen Welle empor, deren Gipfel dem Laufe der himmlischen Lichter folgt. So ist überall Bewegung, nirgends Ruhe. Selbst unsere Erde ruht nicht einen Augenblick; sie kreist um eine Axe, rollt um eine Sonne, und auch der Sonne und den Sternen des Firmaments raubte die heutige Wissen-

schaft das lange geträumte Vorrecht der Ruhe. Kein Wesen auf unserer Erde kennt den Zustand der Ruhe, und wenn wir auch die Bewegung des mütterlichen Boden für nichts achteten, es lebt oder wächst, es verdunstet oder verwesetet, es verändert seine Temperatur oder seine electrischen Beziehungen und entwickelt in jeder Lage, in jedem Zustande eine Ruhe vernichtende Bewegung.

Alle Bewegung in der Natur geschieht in Raum und Zeit und wird durch diese gemessen. Das Verhältniß der verbrauchten Zeit zu der zurückgelegten Strecke ist das Maß der Bewegung. Man nennt dieses Maß die Geschwindigkeit. Haben zwei Bewegungen in der gleichen Zeit stattgefunden, so verhalten sich ihre Geschwindigkeiten, wie die durchlaufenen Strecken. Sind von zwei bewegten Körpern die gleichen Strecken durchlaufen worden, so verhalten sich ihre Geschwindigkeiten umgekehrt, wie die dazu verbrauchten Zeiten. So bewegt sich ein Dampfwagen, der eine Meile in 10 Minuten zurücklegt, mit einer neunmal so großen Geschwindigkeit, als ein guter Fußgänger, welcher $1^1/_2$ Stunde oder 90 Minuten zu einer Meile braucht. So ist die Geschwindigkeit des Schalls, der 1044 Fuß in der Secunde durchläuft, 9—10mal so groß, als die des stärksten Orkans, der doch nur 100—120 Fuß in der Secunde durchfliegt, und die Geschwindigkeit einer 24pfündigen Kanonenkugel ist noch $2^1/_4$ mal größer, da sie sogar 2300 Fuß in derselben Zeit zurücklegt. Unsere Erde rollt in jeder Stunde 14,224 Meilen auf ihrer Bahn dahin; aber die Geschwindigkeit dieser Bewegung wird durch die des Lichts um mehr als das 10,000fache übertroffen, da das Licht in jeder Secunde über 41,000 Meilen durchfliegt.

Kein Körper kommt durch sich selbst in Bewegung; es bedarf dazu einer von außen wirkenden Kraft. Kein Körper kommt aber auch durch sich selbst zur Ruhe; die Ursache der Bewegung, die Kraft, muß vernichtet werden, wenn Ruhe eintreten soll. Es gibt keine Wirkung ohne Ursache; es gibt keine Veränderung ohne verändernde Kraft. Ist ein Körper einmal in Bewegung gesetzt, so beharrt er in dieser Bewegung mit derselben Richtung und Geschwindigkeit, bis er durch eine neue wirkende Kraft aufgehalten oder zu einer Aenderung der Richtung oder Geschwindigkeit gezwungen wird. Dieses Gesetz, wonach also der Zustand eines Körpers sich nicht ohne äußere Ursache ändert, nennt man das Gesetz der Trägheit. Man darf diese Trägheit freilich nicht als einen eigenthümlichen Hang der Körper zur Ruhe, als einen Abscheu vor der Bewegung auffassen, wie man es früher wohl gethan

hat. Im Gegentheil werden wir an das Dasein dieser Trägheit oft durch sehr heftige und sogar zerstörende Bewegungen erinnert. Wenn die Glocke noch läutet, obwohl sie nicht mehr angezogen wird, wenn das Mühlrad noch umgeht, obwohl das Wasser nicht mehr darauf schießt, wenn der Kahn sich noch gegen den Strom bewegt, obwohl das Ruder nicht mehr thätig ist, so sind das Wirkungen der Trägheit. Wenn wir aus einem in rascher Fahrt begriffenen Wagen springen, so stürzen wir zu Boden, gerade als ob wir im Laufe an einen Stein stießen, weil unser Oberkörper vermöge der Trägheit noch die Bewegung des Wagens hat, während unsere Füße von dem Boden aufgehalten werden. Aber auch der mit der Hand geworfene Stein, der von der Sehne des Bogens abgeschnellte Pfeil, die dem Laufe des Gewehrs entflohene Kugel bewegen sich vermöge der Trägheit noch fort, nachdem die Kraft, welche ihre Bewegung hervorgerufen, längst aufgehört hat zu wirken. Tritt ein Widerstand einer Bewegung plötzlich entgegen, so erfolgt sogar in der Regel ein Zerreißen des getroffenen Körpers, da die getroffenen Theile nicht Zeit haben, den Stoß auf den ganzen Körper zu vertheilen. Die abgeschossene Kugel durchbohrt das Bret, die geschwungene Axt fällt den Baum, ein Schlag zerbricht den Stab in der Mitte, ohne die Unterlagen zu verrücken. Ist die Widerstand leistende Kraft dagegen stark genug, die bewegende zu überwinden, so erfährt der bewegte Körper die ganze Wirkung. Den Schlag auf den Tisch empfindet die Hand, und die Flintenkugel, welche schief auf eine Wasserfläche trifft, kann sogar abgeplattet werden.

Wenn man nun trotz dieser Trägheit jede Bewegung auf der Erde doch ein Ende finden sieht, wenn die Kugel auf dem Billard allmälig langsamer rollt und endlich zur Ruhe zurückkehrt, wenn die Uhr, die nicht aufgezogen wurde, stehen bleibt, wenn der wildeste Sturm endlich schweigt, und der tobendste Wildbach in der Ebene seine Ruhe findet, so müssen wir die Ursache dieser Ruhe stets in der Wirkung entgegengesetzter Kräfte suchen. Eine Kraft kann sich nicht selbst verzehren; ihre Wirkung muß aufgehoben werden durch eine entgegengesetzte gleiche Wirkung. Diejenigen Kräfte, welche am gewöhnlichsten allen Bewegungen ein Ziel setzen, und die wir darum vorzugsweise als *Hindernisse der Bewegung* bezeichnen, sind die Reibung, der Widerstand der Luft und die Schwere. Eine abgeschossene Kugel würde unaufhörlich fortfliegen, wenn der Widerstand der Luft sie nicht hinderte, und die eigene Schwere sie nicht zu Boden zöge. Ein rollender Billardball würde [illegible] zur Ruhe kommen, wenn die Reibung des Tuches ihn

nicht aufhielte. Unter diesen Hindernissen der Bewegung ist es namentlich die Reibung, welche wir stets zu überwinden haben, wenn wir einen ruhenden Körper in Bewegung setzen wollen. Diese Reibung entsteht dadurch, daß bei zwei sich berührenden Körpern, die einen Druck auf einander ausüben, die Berührungsflächen auch bei der sorgfältigsten Politur niemals vollkommen eben sind, daß vielmehr Erhabenheiten der einen in Vertiefungen der andern Fläche eingreifen. Soll also ein Körper auf einem andern fortbewegt werden, so müssen diese Erhabenheiten entweder verschoben oder losgerissen werden, oder es muß der zu bewegende Körper über die Erhabenheiten der Unterfläche hinweggehoben werden. Darum entspricht auch die Größe der Reibung nicht blos der Rauhheit der sich berührenden Flächen, sondern auch dem Drucke, also im Allgemeinen dem Gewichte des zu bewegenden Körpers. Die Schwierigkeit, die Last seines Wagens über die Unebenheiten der Straße hinwegzuheben oder die letzteren niederzudrücken, ist die Ursache des Eifers, mit welchem wir einen Fuhrmann seine Pferde antreiben sehen, wenn sie den ruhenden Wagen von der Stelle ziehen sollen. Auf völlig glatter Bahn würde der geringste Kraftaufwand zum Fortstoßen der größten Last hinreichen. So lange aber solche völlig glatte Ebenen in das Reich der Theorie, nicht der Wirklichkeit gehören, wird es auch schwerer bleiben, einen beladenen Wagen in Bewegung zu setzen, als einen leeren, eine eiserne Kugel zu rollen, als eine hölzerne. Wäre die Trägheit ein besonderes Vermögen der Körper, so bliebe es unerklärlich, warum man auf den Schienen einer Eisenbahn mit derselben Kraft eine mindestens zehnmal so große Last fortschieben kann, als auf der besten Chaussee.

Alle Ruhe in der Natur ist nur die Wirkung entgegengesetzter, einander aufhebender Bewegungen. Diese Gleichheit entgegenwirkender Kräfte nennt man Gleichgewicht. Soll ein ruhender Körper in Bewegung gesetzt werden, so muß man dieses Gleichgewicht stören, indem man entweder eine der gegenwirkenden Kräfte aufhebt oder eine neue Kraft hinzuführt. Auf alle irdischen Körper wirkt aber bereits eine Kraft, die Schwerkraft, und dieser wird das Gleichgewicht gehalten durch den Gegendruck der Unterlage. Entfernt man diese Unterlage, so kommt der Körper in Bewegung, er fällt. Wenn aber auch die Schwerkraft in jedem Theile eines Körpers wirksam gedacht werden muß, so übt er doch als zusammenhängende Masse stets nur eine gemeinsame Wirkung aus, die gleichsam von einem einzigen Punkte, dem Schwerpunkte, ausgeht. Es ist derjenige Punkt eines Körpers, um welchen

alle seine Theile einander das Gleichgewicht halten. Bei regelmäßig gestalteten und überall gleich dichten Körpern liegt darum der Schwerpunkt immer in der Mitte, so bei der Kugel im Mittelpunkt, bei der Walze in der Mitte der Axe. Bei Körpern von ungleicher Dichtigkeit dagegen muß er stets dem dichteren Theile näher liegen. Kleine Figuren von Hollundermark, die auf bleiernen Füßen stehen, richten sich darum stets wieder auf, wenn sie auf die Seite gelegt werden. Darum werden auch mit falschen Würfeln stets die höheren Nummern geworfen, wenn sie in der Nähe der ungünstigen Nummern Blei enthalten. Der Schwerpunkt ist es ja allein, der zu fallen strebt, und der darum unterstützt werden muß. Geschieht das nicht, so erlangt die Seite des Körpers, in welcher der Schwerpunkt liegt, das Uebergewicht, und der Körper sucht diejenige Lage einzunehmen, in welcher der Schwerpunkt die möglichst niedrige Stelle hat. Eine geneigte Mauer steht so lange fest, als die senkrechte Linie durch ihren Schwerpunkt, d. h. die Richtung ihrer Schwere oder die Schwerlinie, noch in ihrer Masse liegt. Oft sehen wir Felsblöcke über jähen Abgründen hangen, als müßte jeder Windstoß sie herabwehen, und doch schweben sie dort schon seit Menschengedenken. Wir sehen Schiffe mit ihren Segeln in die Wellen tauchen und doch nicht umschlagen, weil ihr Schwerpunkt tief liegt und wenig durch die Schwankungen des Schiffes in seiner Lage verrückt wird. Unser eigner Gang ist ein beständiges Widerstreben gegen den Fall. Wir müssen Biegungen nach rechts und links, vorwärts und rückwärts machen, um unsern Schwerpunkt zu unterstützen und die Schwerlinie stets zwischen den Füßen zu haben. Kinder, die noch nicht Uebung genug in dieser Kunst des Balancirens haben, fallen daher leicht. Wir selbst, wenn der Druck des Blutes auf unsere Nerven für Augenblicke das klare Bewußtsein unsrer Seele verdunkelt, sei es im Zustande des Schwindels oder des Fieberwahns oder des Rausches, vermögen nicht mehr die gewohnte Kunst des Balancirens zu üben und den Schwerpunkt unseres Körpers in allen seinen Lagen zu unterstützen, wir taumeln, wanken und fallen.

Je tiefer der Schwerpunkt liegt, um so besser ist die Ruhe des Körpers gesichert. Hängen wir daher einen Körper auf, so muß der Schwerpunkt stets senkrecht unter dem Aufhängepunkte liegen. Entfernen wir ihn seitwärts aus dieser Lage, so schwingt der Körper so lange hin und her, bis er in seine Ruhelage zurückgekehrt ist. Ein solches Gleichgewicht, wo der Unterstützungspunkt über dem Schwerpunkte liegt, nennt man ein *stabiles Gleichgewicht*. Jenes Schwanken kann aber

nicht eintreten, wenn der Körper unterwärts unterstützt wird. Eine Verrückung des Schwerpunkts kann dann den Körper sofort zum Fallen bringen, wenn ihm nicht, wie beim Balanciren, der Unterstützungspunkt nach bewegt wird. Ein solches Gleichgewicht nennt man ein labiles. Will man einem Körper einen recht festen Stand geben, so unterstützt man daher nicht blos seinen Schwerpunkt, sondern auch dessen Umgebung mindestens in drei Punkten oder noch besser durch eine Fläche. Unsere Tische und Stühle versehen wir mit 3 oder 4 Füßen, unsere Lampen und Leuchter mit möglichst breiten und schweren Fußgestellen. Die rohe Baukunst der Alten suchte eben deshalb die Festigkeit ihrer Gebäude in möglichst starken Grundmauern, und die alten Aegypter gaben ihren Riesenbauten die Form der Pyramiden. Da ein Körper nur so lange sein Gleichgewicht behauptet, als die Schwerlinie noch in seine Unterstützungsfläche fällt, so bedingt eine hohe Lage des Schwerpunkts ganz besonders die Gefahr des Umfallens. Nichts führt daher auf Kähnen oder Wagen bei drohender Gefahr des Umsturzes häufiger und leichter das Unglück herbei, als wenn die darin Sitzenden, von der Angst getrieben, aufspringen und dadurch den Schwerpunkt höher rücken. Hochbeladene Wagen sind auf schlechten Wegen immer am leichtesten dem Umwerfen ausgesetzt und können nur dadurch etwas gesichert werden, daß man die schwersten Lasten nach unten vertheilt. Ebenso werden leere Schiffe vor dem Umschlagen am besten durch Ballast gesichert.

Unser Körper findet in den Füßen nur eine geringe Unterstützungsfläche. Beim Gange suchen wir diesem Uebelstande theils dadurch abzuhelfen, daß wir die Füße nicht in gerader Linie vor einander, sondern abwechselnd rechts und links aufsetzen, theils indem wir durch Wendungen des Körpers oder durch Ausstrecken der Arme beständig das gestörte Gleichgewicht wieder herstellen. Beim Bergsteigen neigen wir uns vornüber, beim Lasttragen nach der der Last entgegengesetzten Seite. Alles das thun wir nur in Folge der Gewohnheit, ohne uns der Gründe aller Bewegungen bewußt zu werden. In dieser Unmittelbarkeit der Bewegungen, in dieser Feinheit des Gefühls für jede Störung des Gleichgewichts, in dieser Geistesgegenwart, die jeden Augenblick die entsprechende Bewegung findet, um das begonnene Fallen aufzuhalten, liegt der Grund der Bewunderung, die wir den Künsten des Seiltänzers zollen.

So ist alle Bewegung in der Natur nur ein Kampf um Gleichgewicht, nur ein Streben nach Unterstützung. So ist aber auch alle

scheinbare Ruhe um uns nur ein Gleichgewicht schlummernder Kräfte. Ein einziger Stoß, welcher den Zug der Schwere vernichtet oder schwächt, welcher den Schwerpunkt der Körper verändert oder der Unterstützung beraubt, vermag die wildesten Scenen heraufzubeschwören. Das lehren uns die Verwüstungen des Orkans, die Schrecken des Erdbebens.

Drittes Kapitel.

Das Gleichgewicht und die Bewegung fester Körper.

All' unser Wirken und Schaffen im Leben beruht auf dem Hervorrufen von Bewegungen. Ein Körper kann aber nur in Bewegung gesetzt werden, wenn man das Gleichgewicht der vorhandenen Kräfte stört, und dies kann nur geschehen, indem man entweder die eine der auf den Körper wirkenden Kräfte vernichtet, oder indem man eine neue Kraft herbeiruft. Eine an einem Faden hängende Kugel befindet sich in Ruhe. Durchschneiden wir den Faden, dessen Zug bisher dem Zuge der Schwere entgegen wirkte, so folgt die Kugel diesem letzteren ungehindert, sie bewegt sich, sie fällt. Stoßen wir die an dem Boden ruhende Kugel mit dem Fuße, so rollt sie fort, getrieben von der neuen Kraft des Stoßes. Jede Bewegung erfordert also eine Kraft. Aber der Erfolg unseres Schaffens in der Anwendung von Kräften hängt nicht allein von dem Vorhandensein der Bewegung ab, sondern auch von der Größe und Richtung der Bewegung. Die Größe der angewandten Kraft muß der beabsichtigten Wirkung, die Richtung der Bewegung dem beabsichtigten Ziele entsprechen.

Vor allen Dingen gilt es, ein Maß für die Größe einer wirkenden Kraft zu finden, und dies kann nur die Wirkung selbst gewähren. Die Wirkung einer Kraft wird aber einmal abhängen von der Masse des bewegten Körpers, dann von der Geschwindigkeit desselben. Es ist nicht gleichgültig, ob wir eine hölzerne oder eine eiserne Kugel von derselben Größe werfen. Zu dem gleichen Wurfe werden wir das eine Mal eine etwa 7mal so große Kraft verwenden müssen. Aber es ist auch nicht gleichgültig, ob die eiserne Kugel mit der Ge-

schwindigkeit einer Kanonenkugel oder mit der Geschwindigkeit, welche ihr der Wurf mit der Hand zu ertheilen vermag, auftrifft. Wenn aber die Größe der bewegenden Kraft zugleich von der Masse des bewegten Körpers und von der Geschwindigkeit seiner Bewegung abhängt, so ist ihre Wirkung geradezu das Product aus beiden. Durch eine geringe Masse kann also auch eine große Kraft ausgeübt werden, wenn ihr nur eine große Geschwindigkeit ertheilt wird. Die wenige Pfund schweren Kugeln unserer heutigen Kanonen wirken mehr, als die ungeheuren Mauerbrecher der Alten, und der kleine Stein, der aus gewaltiger Höhe herabstürzt, vermag uns ebenso den Schädel zu zerschmettern, als die schwere Bleikugel. Ebenso kann aber auch bei einer sehr geringen Geschwindigkeit die Masse des bewegten Körpers seiner Wirkung eine bedeutende Größe leihen. Eine Eismasse von 12,000 Pfund Gewicht, die sich in einem Flusse mit der geringen Geschwindigkeit von 4 Fuß in der Secunde bewegt, übt, abgesehen von den Widerständen, welche die größere Fläche erleidet, eine ebenso große Kraft aus, wie eine 24pfündige Kanonenkugel, welche 2000 Fuß in der Secunde durchläuft, und die ungeheure Masse geballten Schnees, welchen die Lawine vom Bergabhange herabrollt, knickt ebenso mächtige Wälder und zermalmt Häuser, wie der Felsblock, der sich von der Höhe löst. Die Kraft wird also erzeugt aus der Masse und der Geschwindigkeit.

Aber die Kenntniß von der Größe der Kraft reicht nicht aus zu ihrer Anwendung. Man muß auch die Gesetze kennen, welche die Richtung der Bewegung bestimmen. Hätten wir es immer nur mit einer einzelnen, augenblicklich wirkenden Kraft, einem *Stoße*, zu thun, so wäre diese Bestimmung leicht. Denn eine solche Kraft könnte nur eine Bewegung in *gerader* Richtung mit *gleichbleibender* Geschwindigkeit veranlassen. Aber jeder Blick in die Natur lehrt uns, daß wir es mit so einfachen Bewegungen selten zu thun haben. Wir sehen hier *ungleichförmige* Bewegungen, *beschleunigte* oder *verzögerte*, d. h. mit zunehmender oder abnehmender Geschwindigkeit, und schließen daraus, daß hier in jedem Augenblicke eine Kraft von Neuem auf den bewegten Körper einwirkte in der gleichen oder entgegengesetzten Richtung seiner Bewegung. Wir sehen ferner *krummlinige* Bewegungen und müssen wieder schließen, daß die in jedem Augenblicke hinzutretende Kraft in einer abweichenden Richtung wirkte und dadurch den Körper beständig aus seiner ursprünglichen Richtung ablenkte. Wir kennen als eine solche stetig wirkende Kraft die Schwere, und da sie zugleich eine der verbreitetsten ist, und da sich noch Reibung und andere

Widerſtände dazu geſellen, ſo werden wir nicht fehlgehen, wenn wir überhaupt auf Erden keine von einer einzelnen Kraft abhängige Bewegung erwarten. Um ſo wichtiger wird es für die Erkenntniß der Naturkräfte wie für die praktiſche Anwendung derſelben ſein, die Geſetze aufzuſuchen, welchen die Bewegung eines von zwei oder mehr Kräften getriebenen Körpers folgt, und die Bedingungen, unter welchen mehrere gleichzeitig wirkende Kräfte einander das Gleichgewicht halten.

Das Kräfteparallelogramm.

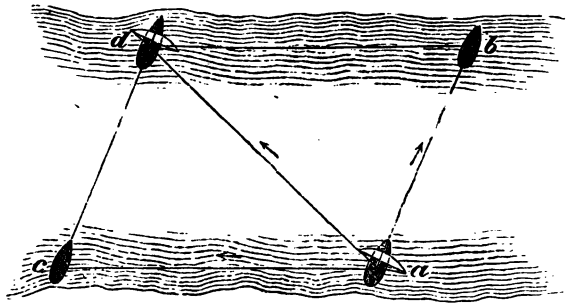
Wenn zwei Kräfte gleichzeitig auf einen Körper in derſelben Richtung wirken, ſo iſt ihre Wirkung der Summe der Wirkungen gleich, welche die beiden Kräfte einzeln hervorgebracht hätten. Wirkten die beiden Kräfte in entgegengeſetzter Richtung, ſo würde ihre gemeinſame Wirkung dem Unterſchiede der einzelnen Wirkungen entſprechen. Ein Dampfſchiff, das bei ruhender Maſchine von der Strömung eines Fluſſes in jeder Secunde um 5 Fuß, in ruhendem Waſſer aber durch die Dampfkraft allein in jeder Secunde um 15 Fuß fortgetrieben würde, wird von Strömung und Dampfkraft zugleich in jeder Secunde um 20 Fuß bewegt werden. Der Strömung entgegen würde es die Dampfkraft aber nur 10 Fuß in der Secunde zu treiben vermögen.

Wenn aber zwei Kräfte gleichzeitig in verſchiedenen Richtungen auf einen Körper wirken, ſo kann er weder der einen noch der andern folgen. Die Richtung ſeiner Bewegung wird vielmehr einmal durch das Verhältniß der wirkenden Kräfte, dann durch die Neigung ihrer Richtungen gegen einander beſtimmt. Diejenige Linie aber, deren Lage gegen zwei andere durch das Verhältniß ihrer Längen und durch ihre Neigung gegen einander beſtimmt iſt, iſt die Diagonale eines Parallelogramms, welches jene Linien bilden. Der von zwei Kräften getriebene Körper bewegt ſich alſo in der Richtung der Diagonale eines Parallelogramms, deſſen Seiten jene Kräfte darſtellen. Aber dieſe Diagonale bezeichnet nicht blos die Richtung, ſondern auch die Geſchwindigkeit und das Ziel der neuen Bewegung. Durch die gemeinſame Wirkung der beiden Kräfte muß ja ſelbſtverſtändlich der Körper an denſelben Ort gelangen, wohin ihn jene einzeln und nach einander wirkend gebracht haben würden, und das kann nur in derſelben Zeit geſchehen, welche zum Durchlaufen jeder Seite des Parallelogramms unter dem Einfluſſe

der vereinzelten Kraft erfordert worden wäre. Das ist das Gesetz des Kräfteparallelogramms, dem die ganze Natur gehorcht.

Wenn ein Schiffer, der über eine ruhige Seefläche von a nach d (Fig. 1) übersetzen will, und dem ein Kahn mit Ruder und Segel zu

Fig. 1.



Gebote steht, sich erst von der vollen Kraft des Windes nach b hinüber treiben lassen und sich dann mit Hülfe des Ruders längs des Ufers von b nach d fortstoßen wollte, so würde man ihn offenbar einen Thoren nennen, da er bei der gleichzeitigen Benutzung von Wind und Ruder auf dem geraden Wege in der halben Zeit von a nach d gelangen würde. Ein erfahrener Schiffer, der über einen Strom setzen will, wird sich daher zunächst ein Urtheil über die Stärke der Strömung und des Windes zu bilden suchen. Gesetzt, das Verhältniß beider werde durch die Linien ac und ab ausgedrückt, so wird er unmittelbar die Richtung nach dem Punkte d einschlagen.

Ueberall in der Natur, wo zwei Kräfte gleichzeitig auf einen Körper einwirken, hat das Gesetz des Kräfteparallelogramms seine Geltung; überall lassen sie sich in eine einzige Kraft zusammensetzen, die man als die Diagonalkraft, als die Mittelkraft oder Resultante im Gegensatze zu den Seitenkräften bezeichnet.

Ebenso, wie sich zwei Kräfte in eine einzige vereinigen lassen, kann man auch jede Kraft in zwei andere zerlegen. Denn jede Kraft läßt sich als die Diagonale eines Parallelogramms betrachten und kann also durch beliebige Seitenpaare ersetzt werden, welche einzeln, in anderen Richtungen und mit anderer Stärke wirkend, in ihrer Summe denselben Erfolg liefern, *wie jene Mittelkraft allein*. Schon jeder Stoß, der

einen Körper nicht in senkrechter Richtung trifft, liefert dafür einen Beweis. Die Wirkung eines solchen schiefen Stoßes ist gleichsam zusammengesetzt aus zwei Wirkungen, deren eine der Körper, ganz erfährt, während die andere ihn völlig unberührt läßt. Wir können ihn uns daher als die Diagonale eines Kräfteparallelogramms denken, dessen eine Seitenkraft senkrecht auf die Ebene des Körpers gerichtet ist, während die andere parallel mit dieser Ebene geht. Da durch eine mit der Ebene parallel wirkende Kraft keine Bewegung hervorgebracht werden kann, so geht dieser Theil des Stoßes verloren, und nur die übrig bleibende senkrechte Kraft behält ihre Wirkung. Eine Kraft übt also nur dann ihre volle Wirkung auf einen Körper aus, wenn sie senkrecht auf ihn trifft, und zwar, wie wir später sehen werden, auch dann nur, wenn sie ihn zugleich in der Richtung auf seinen Schwerpunkt trifft.

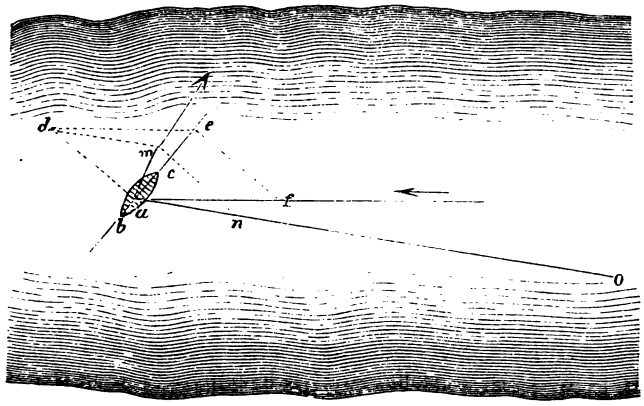
Auf diesem Gesetze der Kräftezerlegung beruht es, wenn der Schiffer auf offener See Seitenwinde benutzt, um sein Schiff vorwärts treiben zu lassen. Er wendet seine Segel dem Seitenwinde entgegen, er braßt sie, wie es in der Seemannssprache heißt, aber immer so wenig als möglich. Stehen ihm mehrere Segel zu Gebote, so wählt er ihre Stellung so, daß eine möglichst große Leinwandfläche zur Wirkung kommt, und nicht ein Segel das andere deckt. Der Wind trifft dann schief auf die Segelfläche, und seine Kraft wird in zwei Seitenkräfte zerlegt, deren eine dem Segel parallel ist, also verloren geht, während die andre senkrecht gegen das Segel trifft, also zur vollen Wirkung kommt. Aber diese letztere Kraft wird wieder in zwei andere zerlegt, deren eine das Schiff vorwärts treibt in der Richtung des Kiels, während die andere es seitwärts drängt. Da nun das Schiff so gebaut ist, daß es in der Richtung nach vorwärts vom Wasser einen möglichst geringen, in der Richtung nach seitwärts einen möglichst großen Widerstand erfährt, und da das Steuerruder diese Stellung des Rumpfes gegen den doppelten Stoß behauptet, so folgt das Schiff dem Stoße nach vorn möglichst vollständig, dem Stoße nach der Seite aber in sehr geringem Grade.

Ganz ähnlicher Art ist die Wirkung des Windes auf die Flügel einer Windmühle. Der Müller stellt zwar seine Mühle so, daß die Richtung des Windes gerade senkrecht auf der Ebene steht, in welcher sich die Flügel bewegen. Da aber die Flächen der einzelnen Flügel schief gegen diese Ebene geneigt sind, so sehen wir auch hier wieder die Segel — denn so nennt man in der That die Bedeckungen der Flügel — scharf vor den Wind gestellt, und die Kraft des Windes löst sich

darum wieder in zwei Kräfte auf, deren eine die Flügel in Bewegung setzt. Die Länge der Flügel bewirkt, daß der Wind, zum Theil wenigstens, in einem großen Abstande von der Drehungsaxe wirken kann, und daraus erklärt sich, wie wir später sehen werden, die große Kraft und Geschwindigkeit, mit welcher sich die Flügel bewegen, die zugleich dadurch in ein großes Schwungrad verwandelt werden, das die Mühle in einem gleichmäßigen Gange erhält.

Eine nicht minder interessante Anwendung vom Gesetze der Kräftezerlegung wird bei der fliegenden Fähre gemacht, welche den Verkehr über breite und starkfließende Ströme vermittelt. Es ist ein großes Fahrzeug, das an einem starken Taue treibt, welches auf einem mitten im Flusse verankerten Kahne befestigt ist. Das Steuerruder gibt dem Fahrzeuge die schiefe Stellung b c (Fig. 2) gegen den Strom, welcher in der Richtung g a dagegen treibt. Der schiefe Stoß des Wassers wird

Fig. 2.



daher in die mit der Fähre parallele Kraft a e zerlegt, welche wirkungslos verloren geht, und in den senkrechten Stoß f e, welcher die Fähre in der Richtung a d fortzutreiben strebt. Sie würde auch diesem Stoße folgen, wenn nicht das Tau sie in der Richtung a o zurückzöge. Ihre Bewegung setzt sich daher aus den Wirkungen dieser beiden Kräfte a d und a n zusammen und folgt der Richtung der Mittelkraft a m. Da aber die zurückziehende Kraft des Taues eine stetige, d. h. in jedem Augenblicke von Neuem und mit gleicher Stärke wirkende ist, so verwandelt

sich die Bewegung der Fähre in eine krummlinige durch einen Kreisbogen, welchen das Tau um den Befestigungspunkt o von einem Ufer zum andern beschreibt.

Was aber die Bewegung der Fähre im Wasser, das ist genau die Bewegung des Papierdrachens der Kinder in der Luft. Wir haben nur an die Stelle des Wasserstroms den Luftstrom, an die Stelle der Fähre den Drachen, dessen Schwanz das Steuerruder bildet, an die Stelle des Taues den Faden des Knaben zu setzen. Der Luftstoß wird durch die schiefe Stellung des Drachens zerlegt und behält nur seine Wirkung nach ad. Der abgelenkte Stoß aber setzt sich mit der Zugkraft des Fadens zur Bewegung nach am oder vielmehr zu einer krummlinigen Bewegung in der Richtung der Tangente am zusammen. Der Drache wird daher steigen, so lange der Windstoß seine Schwere überwindet.

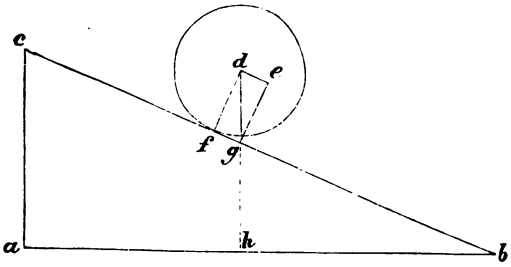
Wohin wir blicken, in allen Bewegungen der Natur, in allen Bewegungen unserer Maschinen, ja selbst in allen Bewegungen der Himmelskörper begegnen wir diesem Gesetze von der Zusammensetzung und Zerlegung der Kräfte. Das Wasser, wenn es auf das Mühlrad fällt, oder wenn es von den Schaufeln des Dampfschiffes gestoßen wird, der Sturmwind, wenn er gegen die Dächer schlägt und die Ziegel aufwärts schleudert, wirkt nach diesem Gesetze. Die sogenannten Widerstände und Hindernisse der Bewegung, die Reibung, die Schwere mischen gerade kraft dieses Gesetzes ihre Wirkungen in alle unsere mechanischen Bewegungen ein, schwächen sie oder ändern ihre Richtung ab. Die abgeschossene Kugel, welche Schwere und Luftwiderstand allmälig zu Boden ziehen, der Weltkörper, welcher durch die Anziehung eines andern Weltkörpers in seiner Bewegung gestört, von seiner Bahn abgelenkt wird, sie folgen demselben Gesetze, das uns das Spiel des Knaben, der steigende Drache enthüllte. Wie unrecht thut Mancher, der diese kleine Welt im Spiele verachtet, weil, wie er meint, man das Auge ganz auf die große Welt richten müsse! Und doch weiß er vielleicht trotz aller hohen Bildung von dem Wirken der Kräfte in Dampfmaschinen, oder im Menschenleibe, oder gar in jenem Organismus, den wir Menschengeist nennen, gerade so wenig als vom Papierdrachen! Doch sieht er vielleicht ebenso wenig über die Fäden hinaus, an denen seine vermeinte Vorsehung die Geschicke leitet, als über die Fäden, an denen der Knabe den Drachen hält!

Keil und Schraube.

Aller Gebrauch, den wir bisher von der Zerlegung der Kraft machen sahen, ging darauf hinaus, eine Bewegung in einer von der bewegenden Kraft abweichenden Richtung hervorzurufen. Allerdings geschah das immer auf Kosten der Kraft, da ein Theil derselben ungenutzt an dem Körper vorüberglitt. Eine neue Bedeutung gewinnt dieses Gesetz aber dadurch, daß es uns in den Stand setzt, auch Widerstände und Lasten zu theilen, so daß wir sie nur mit einem Theile des Kraftaufwandes, der sonst erforderlich wäre, zu überwinden vermögen. Auf dieser Eigenschaft beruht die Anwendung der schiefen Ebene.

Wenn eine Last eine schiefe Ebene aufwärts bewegt werden soll, so ist es selbstverständlich ihr Fallbestreben, welches überwunden werden muß. Das Fallbestreben eines Körpers entspricht auf der horizontalen Ebene dem Drucke desselben, also seinem Gewichte. Auf der schiefen Ebene aber wird dieser Druck nach dem bekannten Gesetze zerlegt. Wenn dg (Fig. 3) nämlich die ganze Druckkraft der Last darstellt, so läßt sie sich in die gegen die schiefe Ebene be senkrecht wirkende Seitenkraft df

Fig. 3.

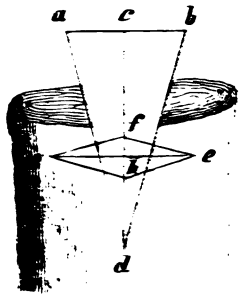


und die ihr parallele fg zerlegen. Die senkrechte Kraft df wird aber durch den Widerstand der Ebene aufgehoben, und es bleibt also als Fallbestreben nur noch die Kraft fg übrig. Es ist nicht schwer zu beweisen, daß die beiden Dreiecke fdg und abc einander ähnlich sind, und daraus folgt, daß sich fg zu fd verhält, wie ac zu cb. Das bedeutet mit andern Worten, daß das wirklich zu überwindende Fallbestreben eines Körpers auf einer schiefen Ebene sich zu seiner Last verhält, wie die Höhe zur Länge der schiefen Ebene, oder daß einer Last auf der

ſchiefen Ebene das Gleichgewicht gehalten wird durch eine Kraft, welche ſich zu jener wie die Höhe zur Länge der ſchiefen Ebene verhält. Je ſteiler alſo eine ſchiefe Ebene iſt, deſto geringer iſt der ſenkrechte Druck, deſto größer das Fallbeſtreben der Laſt, deſto größer auch der zur Aufwärtsbewegung der Laſt erforderliche Kraftaufwand. Je weniger geneigt die Ebene, deſto geringere Kraft wird erfordert, abgeſehen freilich von der Reibung, die Laſt darauf fortzubewegen. So wird es begreiflich, warum der Fuhrmann die Schretleiter anlegt, wenn er ein ſchweres Faß auf ſeinen Wagen heben will, warum man Wege über hohe Berge im Zickzack oder in Schneckenwindungen aufwärts führt. Es iſt in der That eine Krafterſparniß, die dabei bezweckt wird, ſo weit überhaupt von Krafterſparniß in der Natur die Rede ſein kann; denn ſie geſchieht auf Koſten der Zeit. Die Hebung oder Fortbewegung der Laſten geſchieht zwar leichter, aber auch langſamer.

Statt Laſten über ſchiefe Ebenen hinauf zu bewegen, kann man natürlich auch Laſten heben, wenn man die ſchiefe Ebene darunter ſchiebt. Darauf beruht in der That die Anwendung des Keils, welchen der Zimmermann mit gewichtigen Schlägen unter den Balken treibt, der ſich etwa geſenkt hat, und nun in ſeine Gleichlage zurückgebracht werden ſoll. Darauf beruht auch der Preßkeil, welcher, vom Hammer der Oelmühle getroffen, den Kern in die Form ſchiebt und das Oel aus den Samen preßt. Auch der Keil, mit welchem der Holzhauer ſeine Blöcke ſpaltet, iſt eine Anwendung der ſchiefen Ebene. Er bildet gleichſam eine doppelte ſchiefe Ebene, da er nach beiden Seiten hin Widerſtände überwinden ſoll. Dieſe Widerſtände ſind natürlich ſenkrecht auf die ſchiefen Flächen des Keils gerichtet und entſprechen in Fig. 4 den Linien gf und ef. Sie werden ſich daher nach dem Geſetze des Kräfteparallelogramms zu einer einzigen Mittelkraft hf vereinigen, und dieſer allein hat der Schlag des Hammers auf die obere Fläche des Keils entgegen zu wirken. Aus der Aehnlichkeit der Dreiecke gfh und abd folgt aber wieder, daß ſich fh zu gf wie ab zu ad verhält. Mit andern Worten, die Kraft verhält ſich zu jedem der Widerſtände, wie die Breite des Rückens zur Seitenlänge des Keils. Der Schlag des Hammers auf den Keil wird alſo dem geſammten

Fig. 4.



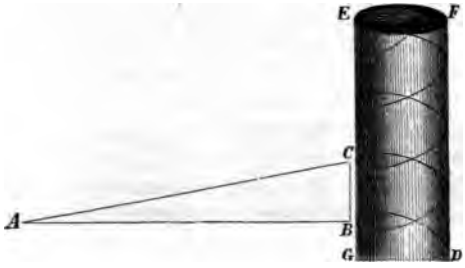
Widerstande des Holzes das Gleichgewicht halten, wenn seine Kraft sich zu dem Widerstande wie die halbe Breite des Rückens zu der Seitenlänge des Keils verhält. So findet sich auch hier das Gesetz der schiefen Ebene und die darauf begründete Krafterspariß bestätigt. Es könnte hier allerdings noch ein Bedenken daraus entstehen, daß doch die Widerstände des Holzes ununterbrochen fortwirken, während die Kraft, welche sie überwinden soll, nur in einzelnen unterbrochenen Schlägen ausgeübt wird. Man sollte erwarten, daß der Keil nach jedem Schlage durch den Seitendruck sofort wieder oben hinausgeschleudert würde, gerade wie wir einen nassen Kirschkern zwischen den drückenden Fingern davon schnellen. Das würde auch in der That geschehen, wenn nicht die große Reibung der Spaltenwände die Wirkung dieser Seitenkräfte noch überträfe. Diese Reibung ist es auch, die unsere Nägel und Nadeln, die ja auch nur schlanke Keile sind, in Holz und Mauern festhält.

Eine ganze Reihe der wichtigsten und alltäglichsten Werkzeuge in Haus und Werkstatt erhält für uns ein Verständniß, wenn wir uns vergegenwärtigen, daß sie nur besondere Formen des Keils sind. Alle unsere schneidenden Werkzeuge, Beile und Aexte, Messer und Scheeren, sind Keile, denen man nur möglichst schmale Rücken gegeben hat, damit sie möglichst geringe Widerstände erfahren und mit möglichst geringem Drucke schneiden. Rasiermesser pflegt man deshalb sogar hohl zu schleifen, damit man dem Rücken einige Festigkeit geben kann, ohne die Leichtigkeit des Schneidens zu beeinträchtigen. Auch beim Bau von Gewölben finden wir vom Keile Anwendung gemacht. Die Gewölbsteine sind in einander gepreßte abgestumpfte Keile, deren jeder seine Nachbarn zu trennen sucht, jeder nach auswärts gedrückt wird, bis die festen Widerlager ihren Druck aufheben.

Auch die Schraube ist eine schiefe Ebene, welche um eine cylindrische Axe gewunden ist. Die Neigung dieser schiefen Ebene CAB (Fig. 5) hängt ab von dem Verhältniß der Höhe des einzelnen Schraubenganges BC zum Umfange des Cylinders. Diesem Verhältniß entspricht aber auch die Krafterſparung, welche eintritt, wenn man Lasten an der Schraube auf und nieder bewegt. Eine Schraube, deren Durchmesser 1 Zoll, deren Umfang also etwas über 3 Zoll betrüge, und deren Schraubengänge eine Linie hoch wären, würde demnach eine Last von fast 38 Pfund mit einem Kraftaufwande von nur 1 Pfund zu heben vermögen. Freilich würde die Hebung für jeden Umgang der Schraube auch nur eine Linie betragen.

Diese Wirkung erleidet überdies noch einen beträchtlichen Verlust durch die beim Gebrauche jeder schiefen Ebene, also auch der Schraube, unvermeidliche Reibung. Die große Berührungsfläche, welche die Schraube bietet, die gleitende Bewegung, in der sie sich stets befindet, der starke Druck, den sie meist zu erleiden hat, das Alles sind Umstände, welche die Reibung an der Schraube oft in einem Grade vermehren, daß sie $^3/_4$ ihrer gesammten Wirkung vernichten. So unangenehm und störend nun auch im Allgemeinen der Reibungswiderstand in unsere mechanischen Bewegungen eingreift, so nutzbar und wohlthätig kann er sich doch bisweilen erweisen. Alle unsere Befestigungsmittel beruhen darauf, und als solches spielt gerade die Schraube die gewöhnlichste und wichtigste Rolle. Der keilförmige Nagel, der einer ziemlich heftigen Gewalt bedarf, um in den zu befestigenden Gegenstand getrieben zu werden, verliert seine Anwendbarkeit bei zarten und leicht beweglichen Gegenständen, die nicht starken Erschütterungen ausgesetzt werden dürfen. Die Schraube dringt langsam und sanft in solche Gegenstände ein und haftet doch der größeren Reibung wegen noch fester. Bei der spitzen, keilförmigen Schraube, die unsern Korkzieher darstellt, wird diese Reibung so bedeutend, daß der Kork mit ihr zugleich aus der Flasche gezogen werden kann. Ueberall, wo eine sanfte, aber in ihrer Stetigkeit kräftige Wirkung erfordert wird, findet die Schraubenform ihren Platz, und wie den Nagel, so windet man auch das Messer schraubenförmig, wenn es als Bohrer Holz und selbst Metalle durchdringen soll.

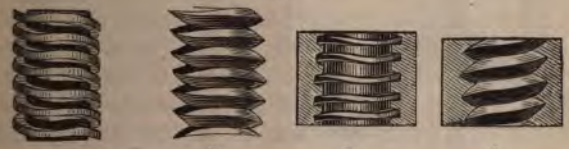
Fig. 5.



Die eigentliche Bestimmung der Schraube ist aber keineswegs, als Befestigungsmittel zu dienen; man hat nur bisweilen die Noth zur Tugend gemacht, das Hinderniß zum Nutzen gewendet. Der wahre Zweck der Schraube ist Bewegung. Die Schraube ist ja ihrem Wesen nach eine gewundene schiefe Ebene, auf welcher Lasten auf oder nieder bewegt werden sollen. Zu diesem Zwecke gilt es freilich, die Reibung möglichst zu vermindern. Hier darf die Schraube nicht erst, wie ein spaltender Keil, die Widerstände aus einander drängen und sich selbst

gewaltsam den Weg bahnen, sondern sie muß selbst ein bequemer Weg für bewegte Lasten werden. Daraus ergibt sich eine doppelte Forderung: einmal ein schraubenförmiger Weg an der inneren Seite eines Cylinders, dann ein schraubenförmiger Körper, der die Last trägt, und dessen Windungen auf jenem Wege auf- und niedergleiten. Es bedarf einer hohlen und einer soliden Schraube, oder, wie die technische Sprache sich ausdrückt, einer weiblichen und einer männlichen Schraube, einer Schraubenmutter und einer Schraubenspindel. Die

Fig. 6.



1. 2. 3. 4.

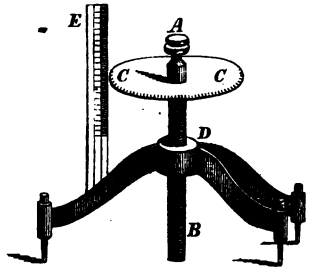
1 u. 2 männliche Schrauben, 1 flach, 2 scharf; 3 u. 4 weibliche Schrauben, 3 flach, 4 scharf.

Gewinde beider müssen stets genau in einander passen; je nachdem das eine scharf oder flach, d. h. dreiseitig oder vierseitig ist, muß es auch das andere sein. Bald kann es die Schraubenmutter, bald auch die Schraubenspindel sein, welche die Last trägt und mit sich aufwärts führt. Aber immer muß diejenige, welche den Weg bildet, auf welchem sich die andere bewegen soll, fest und unbeweglich bleiben.

Die Hebungen, welche eine Schraube bewirkt, können natürlich nur gering sein in Betracht der aufgewandten Arbeit; sie erhalten ihren Werth nur durch das vortheilhafte Verhältniß der hebenden Kraft zur gehobenen Last. Deswegen verwandelt man auch häufig die Hebung in einen bloßen Druck, der auf die Last ausgeübt werden muß, wenn diese sich nicht frei bewegen kann. Ist die Schraubenmutter fest, wie bei Buchdrucker- und Weinpressen, so drückt die abwärts gedrehte Spindel die unter ihr liegenden Massen zusammen, während bei feststehenden Spindeln, wie bei Buchbinder- und Kartenpressen, umgekehrt die Drehung der Mutter oder der sogenannten Flügelschraube dasselbe bewirkt. Aber auch die kleinen Hebungen, welche die Schraube zu bewirken vermag, können eine wichtige Anwendung finden, wenn es gilt, äußerst kleine Bewegungen und Veränderungen in der Stellung eines Körpers, etwa eines astronomischen oder geometrischen Instruments, einer Wage, Wasserwage oder eines Mikroskops hervorzubringen. Es sind die außer-

ordentlich feinen und gleichmäßig gearbeiteten Mikrometerschrauben, welche hierzu dienen, und welche zugleich ein Mittel für die allerfeinsten Messungen gewähren. Die einfachste Anschauung von einer solchen Messung gewährt das Sphärometer (Fig. 7), eine feine Schraube, deren Schraubenmutter (D) mittelst dreier stählernen Füßen auf einer vollkommen ebenen Glasplatte ruht. An der senkrecht stehenden Spindel(AB) ist eine an ihrem Rande in 100 oder mehr gleiche Theile getheilte Kreisscheibe (C) befestigt, und dicht daneben steht ein senkrechter metallener Stab (E), dessen Theilung genau der Höhe der feinen Schraubengänge entspricht. Enthält nun die Schraube auf jeden Zoll 144 Schraubengänge — und oft enthält sie noch viel mehr —, so entspricht jede Umdrehung der Scheibe einer Hebung oder Senkung der Spindel um $^1/_{144}$ Zoll oder $^1/_{12}$ Linie, jede Drehung um einen Theilstrich der Scheibe also einer Hebung um $^1/_{1200}$ Linie. Legt man daher einen dünnen Gegenstand, ein Blättchen, einen Draht unter die Schraube, und dreht dann die Scheibe, bis die Schraube den Gegenstand berührt, was sich durch ein beginnendes Wackeln des Instruments verräth, so bestimmt die Scheibe durch den Unterschied ihrer Stellungen die Dicke des Gegenstandes. Die Messung ist so fein, daß sie selbst die geringste Krümmung eines Gegenstandes, selbst die Dicke mikroskopischer Gegenstände erkennen läßt. Es kann daher Niemand mehr in Verwunderung setzen, wenn er von einer Messung von Blutkügelchen, Nervenfasern oder Blumenstaubkörnchen hört. Man wird sich auch nicht mehr über die Leistungen der Theilmaschine wundern, welche die außerordentlich feinen Theilungen auf den Maßstäben und Meßinstrumenten der Physiker und Astronomen ausführt. Auch sie beruht auf einer Schraube, welche einen sogenannten Schlitten fortführt, mit dessen Schneidestift man unter dem Mikroskope nach gewissen Drehungen des Schraubenkopfes die Theilstriche einschneidet.

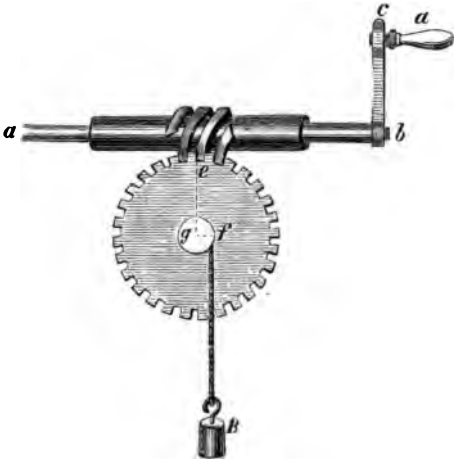
Fig. 7.



Dieser wunderbaren Feinheit in der Wirkung der Schraube läßt sich nur die überraschende Kraftwirkung zur Seite stellen, welche sie ausübt, wenn man sie in ein gezahntes Rad eingreifen läßt. Es ist die Langsamkeit der Bewegung, welche hier das Wunder wirkt, es ist die

Zeit, welche als Kraft auftritt. Wir wissen bereits, daß sich eine Schraubenspindel mit einer Kraft vorwärts bewegt, welche dem Verhältnisse des Schraubenumfangs zur Höhe des einzelnen Schraubenganges entspricht. Setzt man sie mit Hülfe einer Kurbel in Bewegung, so kann der Druck nach einem später zu erläuternden Gesetze noch um eben so viel vermehrt werden, als die Länge der Kurbel den Durchmesser der Schraube übertrifft. Läßt man sie vollends in ein gezahntes Rad eingreifen, an dessen Axe die zu hebende Last hängt, so wird ihre Kraftwirkung abermals nach demselben Gesetze in dem Verhältnisse vermehrt, als der Durchmesser des Rades den der Axe übertrifft. Lassen wir beispielsweise eine Schraube, deren Gänge 1 Zoll Höhe haben, durch eine Kurbel von 2 Fuß Länge in Bewegung gesetzt werden und in ein Rad eingreifen, das 10mal an Durchmesser seine Axe übertrifft, so wird ihre Kraftleistung auf das 1500fache der ursprünglich aufgewandten Kraft gesteigert. Ein Mensch also, der erfahrungsgemäß anhaltend eine Arbeit von 16 Pfund zu verrichten vermag, wird durch diese Schraube in den Stand gesetzt, eine Last von 24,000 Pfund zu heben. Freilich geschieht die Hebung selbst außerordentlich langsam; eine Hebung um 1 Zoll erfordert genau so viele Umdrehungen der Kurbel, als das Rad Zähne hat. Die Kraft dieser Schraube besteht in der ununterbrochen fortdauernden Wirkung, in welche ihre Bewegung durch ihre Verbindung mit dem gezahnten Rade verwandelt wird, und eben diese ist es, welche ihr den Namen der Schraube ohne Ende erworben hat. Die Schraube selbst aber bedarf, um diese Bewegung zu unterhalten, nur weniger Gänge, da jeder Gang, wenn er vorn den einen Zahn verläßt, hinten schon wieder in den folgenden eingreift.

Fig. 8.



Den höchsten Triumph ihrer Leistungen hat die Schraube in

neuester Zeit als Schiffsschraube gefeiert. Als die Erfindung der Dampfmaschine trotz des Spottes und Gelächters, mit welchem man im J. 1808 Robert Fulton's erstes Dampfschiff begrüßte, in der Schifffahrt eine gewaltige Umwälzung hervorgerufen hatte, als Tausende von Dampfschiffen aller Größen, Kriegs-, Handels- und Postschiffen bereits alle Meere und Ströme der Erde durchflogen, war es ein kleiner Uebelstand, der zu einer neuen glänzenden Erfindung Veranlassung gab. Es war der Schaden, welchen der starke Wellenschlag der Schaufelräder der Dampfschiffe an den Ufern enger Kanäle und Flüsse verursachte, welcher im J. 1825 eine Preisausschreibung für die Erfindung einer neuen, nicht mit diesem Uebelstande behafteten Triebkraft veranlaßte. Ein Gedanke, der schon längst von amerikanischen und englischen Ingenieuren verfolgt worden war, erhielt jetzt durch Ericson und Smith fast gleichzeitig seine praktische Ausführung. Das Geheimniß dieser neuen Erfindung, die seit dem J. 1839, wo das erste Schiff nach dem Vorschlage Smith's gebaut wurde, der Dampfschifffahrt eine ganz neue Gestaltung gegeben, beruht auf der Wirkung der Archimedischen Schraube.

Wir haben die Schraube bereits als Bewegungskraft kennen gelernt. Wir sahen sie durch ihre Umdrehung einen Druck in der Richtung ihrer Axe ausüben, und sahen diesen Druck, wenn er den Widerstand überwand, in Bewegung übergehen. Diese Bewegung war zwar dem Wege nach nur klein; aber da in der Natur keine Kraft verloren geht, so fand die große Geschwindigkeit und der weite Umweg der wirkenden Kraft ihren Ersatz in der gewaltigen Masse der bewirkten Bewegung. Daß durch die Drehung der Schraube ein Stoß in der Richtung der Axe erfolgen kann, beruht auf der schiefen Ebene, welche ihre Windungen bilden. Die umdrehende Kraft wirkt schief gegen die Fläche der Windungen, da aber eine Kraft nur in senkrechter Richtung ihre volle Wirkung ausübt, so gleitet beim schiefen Stoße ein Theil der Kraft wirkungslos an der getroffenen Fläche hin. Auch der übrigbleibende senkrechte Stoß der Schraubenwindungen trifft in der Fortbewegung der Schraube schief auf die Widerstände und zerlegt sich darum in einen seitlichen, gegen die Umgebung gerichteten Stoß und in einen frei in der Richtung der Axe wirkenden, welcher den Druck, die Hebung, den Stoß der Schraube veranlaßt. Für diese doppelte Wirkung der Schraube kann natürlich die Beschaffenheit des Körpers, in den sie eindringt, nicht ohne Einfluß bleiben. Wenn in dem festen Körper die Wände dem Seitendrucke der Schraube widerstehen, so wird dagegen das bewegliche Wasser durch ihn zurückgedrängt, seitwärts geschleudert werden. Trotz

aller Beweglichkeit des Wassers wird aber der Stoß in der Richtung der Axe auch hier seine Wirkung nicht ganz einbüßen. Durch eine Schraube wird sich also auch das Wasser eben so gut heben und fortstoßen lassen, wie ein fester Körper.

Schon den alten Aegyptern wird die Anwendung der Schraube zur Hebung des Wassers bei der Austrocknung der vom Nil überschwemmten Felder zugeschrieben. Gewöhnlich aber wird Archimedes als Erfinder der nach ihm benannten Wasserschraube oder Wasserschnecke bezeichnet. Noch heute wird diese Schraube, wie einst in Aegypten, in Holland unter dem Namen der Tonnenmühlen zur Austrocknung der dem Meere abgewonnenen Polders gebraucht, gewöhnlich in Verbindung mit Windmühlen, deren Flügel sie umtreiben. Es ist ein Rohr, in dessen Innern eine Fläche schraubenförmig um eine Spindel gewunden ist. Schief mit dem einen Ende im Wasser liegend, treibt es bei seiner Umdrehung das Wasser in seine Windungen aufwärts, so daß es, durch die Schnelligkeit des Umschwunges am Zurückfallen gehindert, an der oberen Oeffnung des Rohres ausfließt. Es ist also eine

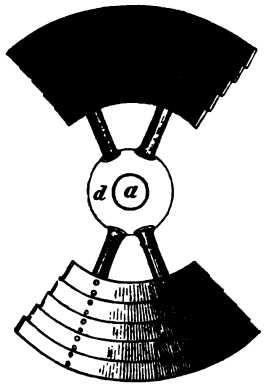
Fig. 9.

feststehende, nach aufwärts sich drehende Schraube, welche das Wasser gerade so hebt, wie der zurückgedrehte Bohrer die Späne aus dem Holze heraufzieht.

Daß eine solche Schraube, statt Wasser zu heben, zumal vom Dampfe getrieben, auch einen Gegenstand, wie ein Schiff, im Wasser fortzustoßen oder vielmehr fortzuschrauben vermag, ist leicht einzusehen. Das Wasser wird allerdings nicht so vollkommen Widerstand leisten, wie ein fester Körper, sondern zum Theil seitwärts auszuweichen suchen, aber der wirksam bleibende Stoß wird doch immer noch etwa $^2/_3$ des ursprünglichen betragen. Der Stoß wird durch die Fläche der Schraubenwindungen geschehen, und von deren Größe daher auch die Größe der Wirkung abhängen. Da die Fläche ferner schief gegen das Wasser wirkt, also nur ein Theil ihres Stoßes in der Richtung der Schraubenaxe zur Wirkung kommt, so wird diese Wirkung wieder um so größer sein, je schiefer die Schraubenwindungen sind. Mit der Schiefe der Schraubenwindungen wächst freilich die Breite der Schraubengänge und wird wieder die Gesammtwirkung der Schraube beeinträchtigt, die dem Verhältniß zwischen Umfang und Höhe des Schraubenganges entspricht. In diesem letzteren Widerspruche liegt die Schwierigkeit der zweckmäßigen Construction einer Schiffsschraube. Ist der Winkel der Schraubenlinie zu groß, so geht zu viel Kraft seitwärts verloren; ist er zu klein, so muß die Umdrehung der Schraube eine außerordentlich schnelle sein, um die einzelnen kleinen Wirkungen zu einer großen Gesammtwirkung zu vereinigen.

Man kann sich nun wohl denken, daß aus dem Bestreben, diese Widersprüche auszugleichen, eine große Mannigfaltigkeit in der Form der Schiffsschraube hervorgegangen ist. Um die Fläche der Schraubenwindungen zu vergrößern, hat man sie flügelförmig erweitert. Da diese Windungen aber an ihren äußersten Enden, wo sie die größte Geschwindigkeit besitzen, auch die größte Triebkraft äußern, so hat man die nur hinderlichen und Widerstand leistenden Theile in der Nähe der Axe zu entfernen gesucht, indem man entweder tiefe Einschnitte in die Windungen machte, so daß gleichsam nur einzelne, schraubenförmig um die Axe gestellte Flügel übrig blieben, oder indem man nur Ausschnitte in der Nähe der Welle machte, so daß sich die Windungen wie freistehende Bänder um die Welle ziehen. Man hat ferner entweder die Flügel unmittelbar an die Wellen, oder an die Enden gerader, von den Wellen ausgehender Arme befestigt. Man hat endlich Flügel und Arme bald eben, bald, um dem Wasser noch weniger Widerstand zu

Fig 10. a.



b.

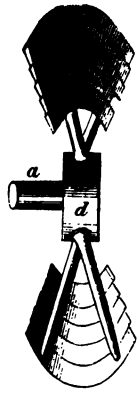
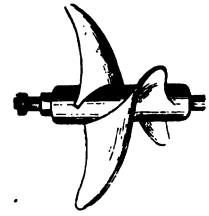


Fig. 11. a.



b

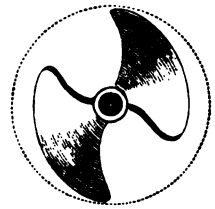
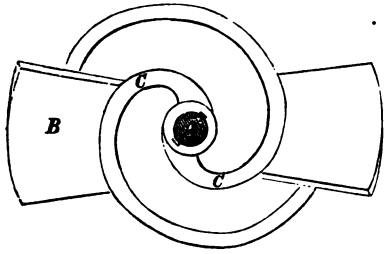


Fig. 12. a.



b

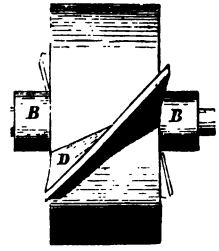
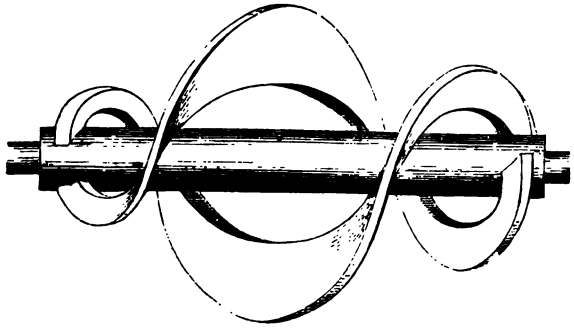


Fig. 13.



bieten, krumm gemacht. Natürlich braucht eine solche Schiffsschraube immer nur einen einzigen Schraubengang zu umfassen, und dies trägt dazu bei, ihre äußere Aehnlichkeit mit einer gewöhnlichen Schraube noch undeutlicher zu machen. (S. Fig. 10—13.)

Der Vortheil, welchen die Schiffsschraube gegenüber den Schaufelrädern gewährt, ist ein außerordentlicher. Allerdings erfordert sie wegen der größeren Umdrehungsgeschwindigkeit kräftigere Maschinen, also auch einen größeren Verbrauch von Brennstoff; aber diese Maschinen lassen sich dafür wegen des kürzeren Spiels ihrer Kolben, das die kurzen, schnellen Stöße bedingen, auf einen weit kleineren Raum zusammendrängen. Die Schraube selbst, die gewöhnlich am Hintertheile des Schiffes über einer Verlängerung des Kiels unmittelbar vor dem Steuerruder angebracht ist, liegt tief unter dem Wasser und ist dadurch vor Verletzungen aller Art geschützt. Die Dampfmaschine liegt ebenfalls im tiefsten Raume und erhöht durch die tiefe Lage des Schwerpunktes die Sicherheit des Schiffes. Die gewaltigen Radkasten fallen weg, und das Schiff gewinnt seine schlanken Formen wieder, die ihm namentlich in engem Fahrwasser so unentbehrlich sind. Vor Allem aber besitzt das Schraubenschiff, was nie ein Ruderschiff zu leisten vermag, einen sicheren, gleichmäßigen Gang auch im wilden, sturmbewegten Meere. Darum gestattet es eine Verbindung von Segel und Dampf, die den stärkeren Verbrauch an Brennmaterial bei weitem aufwiegt.

Schon hat die Schiffsschraube ihre Bluttaufe erhalten, und mehr nud mehr vertauschen Kriegs-, Handels- und Postschiffe ihre unförmlichen Radkasten mit der einfachen Schraube. In anmuthigem Fluge sehen wir nun die Schiffe mit unsichtbarem Bewegungsapparat die Fluthen durchschneiden. Der schlichten Schraube im täglichen Gebrauche hätte Niemand angesehen, daß sie einst solche Zauberdinge vollbringen würde.

Hebel und Rolle.

Wenn wir die künstlichen Werkzeuge, deren der Mensch sich heute bedient, um sich seine Bedürfnisse zu verschaffen, mit denjenigen vergleichen, die ihm im Urzustande seiner Rohheit zu Gebote standen, so staunen wir mit Recht über den Fortschritt, der sich darin kund giebt. Welch eine Culturkluft liegt zwischen dem Baumaste des Wilden und dem goldverzierten blinkenden Schwerte, zwischen dem Steine, den die Hand schleudert, und dem fern treffenden Feuergewehr, zwischen dem aus rohen Stämmen zusammengebundenen Flosse und dem eisernen

Dampfschiffe, zwischen der steinernen Axt und der mächtigen Metallhobelmaschine, zwischen der Fischgräte, womit der Wilde seine Felle zusammen nähte, und dem Erdbohrer, der 15 Fuß weite Schächte abteuft, zwischen dem schlichten Stocke zum Netzstricken und der staunenerregenden Tüllwebemaschine! Das Geheimniß dieses Fortschritts liegt weniger in der Einführung neuer Kräfte, denn deren sind nur wenige, wenn gleich die Bedeutung der Dampfkraft und der electrischen Kraft nicht unterschätzt werden darf. Aber der größte Fortschritt liegt doch in der sinnreichen Benutzung der bekannten Naturkräfte, in der zweckmäßigen Verbindung derselben zu Maschinen.

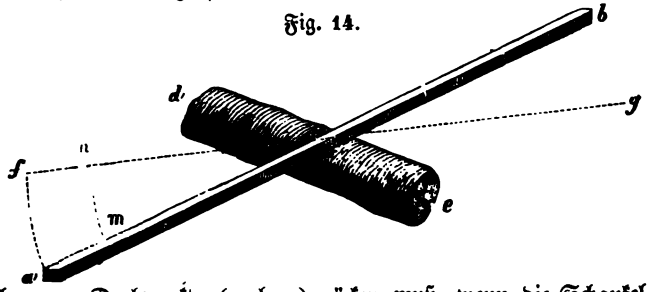
Eine Kraft kann unmittelbar auf einen Punkt nur dann wirken, wenn er sich in ihrer Richtung befindet. In den meisten Fällen aber, wo Körper in Bewegung gesetzt werden sollen, liegen sie außerhalb der Richtung der bewegenden Kraft. Es bedarf dann besonderer Vorrichtungen, um die Kraft zu übertragen oder fortzuleiten, und diese Vorrichtungen sind die Maschinen. Im Allgemeinen werden die Wirkungen solcher Maschinen von zweierlei Art sein können. Sie werden einmal dazu dienen, mit einer geringen Kraft eine große Last, wenn man unter Last die zu bewegende Masse oder das von der Kraft zu überwindende Hinderniß versteht, im Gleichgewicht zu erhalten oder zu bewegen. Sie werden dann aber auch dazu dienen, mit Hülfe einer großen Kraft einer kleinen Last eine große Geschwindigkeit zu ertheilen. Selbstverständlich wird aber immer nur einer dieser Erfolge erzielt werden können, niemals sind beide gleichzeitig zu erreichen. Denn wir haben bereits erfahren, daß sich die bewegenden Kräfte stets verhalten wie die Producte aus der Masse und der Geschwindigkeit der bewegten Körper. Wird also an Kraft gewonnen, so geht an Geschwindigkeit verloren, und umgekehrt. Wird durch eine kleinere Kraft eine größere Last bewegt, so muß auch die bewegende Kraft einen eben so viel größeren Weg zurücklegen, als die bewegte Last. So allein ist es zu verstehen, wenn man von einer Kraftersparung durch Maschinen redet.

Die einfachste Maschine, welche dazu dient, die Wirkung einer Kraft auf Körper zu übertragen, welche außerhalb ihrer Richtung liegen, ist der Hebel. Er ist eine unbiegsame Stange, welche Kraft und Last nach entgegengesetzten Richtungen um einen festen Punkt zu drehen bestrebt sind. Soll dieser Hebel im Gleichgewicht bleiben, so müssen natürlich die Producte aus Masse und Geschwindigkeit der drehenden Kräfte gleich sein. Die Geschwindigkeit der Bewegung hängt aber bei einer sich drehenden Stange ab von der Entfernung vom Drehpunkte;

jeder Punkt bewegt sich um so geschwinder, beschreibt einen um so größeren Weg, je weiter er von dem Drehpunkte entfernt ist. Sind Kraft und Last einander gleich, so wird der Hebel sich also im Gleichgewicht befinden, wenn beide in gleichem Abstande vom Drehpunkte wirken. Befinden sich Kraft und Last aber in verschiedenen Entfernungen vom Drehpunkte, so werden sie einander das Gleichgewicht nur halten, wenn sie sich umgekehrt, wie diese Entfernungen, verhalten. Man bezeichnet nun gewöhnlich die Abstände vom Drehpunkte, in welchen Kraft und Last wirken, als Hebelarme. Das allgemeine Gesetz des Hebels lautet also: der Hebel ist im Gleichgewicht, wenn Kraft und Last sich umgekehrt verhalten, wie die Hebelarme.

Die einfachste Anwendung von diesem Gesetze machen bereits die Kinder bei ihrer improvisirten Schaukel; die sie sich aus einem quer über einen großen Block gelegten Balken bereiten. Sie wissen es recht wohl, daß der größere Knabe von dem Ende des Balkens a etwas

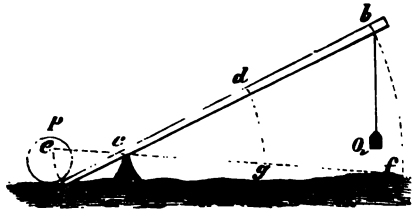
Fig. 14.



näher zum Drehpunkte (nach m) rücken muß, wenn die Schaukel in Gang gebracht werden solle. Freilich wird er auch nur durch den kleineren Bogen m n gehoben werden, während der kleinere Knabe bis zur Höhe b emporgeschnellt wird.

Einen weit praktischeren Gebrauch sehen wir von dem Hebelgesetze an Ausladeplätzen und Packhöfen machen, wenn die Arbeiter mit Hülfe ihrer einfachen Hebelstangen die schweren Ballen vor sich her wälzen. Sie schieben die Stange unter den Ballen, legen einen starken Holzklotz darunter und drücken

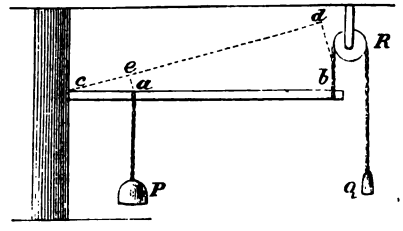
Fig. 15.



nun langsam das andere Ende der Stange nieder. Solch ein Ballen überwiegt vielleicht 4mal die Körperkraft des Arbeiters. Aber der Stützpunkt c des Hebels liegt auch dem Ballen P mehr als 4mal näher, als dem Punkte b, an welchem die Hand des Arbeiters ihre Kraft wirken läßt, und der Hebel wird hier durch den 4mal so großen Bogen b f niedergedrückt, als die Höhe a e beträgt, um welche der Ballen gehoben wird.

Eine ganz abweichende Art der Anwendung scheint uns von dem Hebel gemacht zu werden, wenn wir den Ballen auf die Karre laden sehen. Der Arbeiter bedient sich dabei keines Klotzes als Stützpunkt, sondern schiebt seine Stange einfach unter den Ballen, nur weiter als vorher, stemmt dann ihr Ende fest gegen den Boden und bewegt so in der That die viele Centner schwere Last aufwärts. Eine andere Form des Hebels haben wir hier allerdings; denn der Stützpunkt liegt hier am Ende des Hebels, und die Last wird in derselben Richtung fortbewegt, in welcher die Kraft des Armes wirkt. Es ist der sogenannte einarmige Hebel, während man den vorigen als zweiarmigen zu bezeichnen pflegt. Die einfachste Form, in welcher wir ihn uns vorstellen können, ist eine unbiegsame Stange, deren eines Ende c an einer festen Wand aufgehängt ist, während am andern Ende b vermittelst einer Rolle eine Kraft Q wirkt, welche eine in a befindliche Last P um eine kleine Strecke zu heben sucht. Das Gesetz bleibt gleichwohl dasselbe. Auch hier streben ja zwei Kräfte, die Stange nach entgegengesetzten Richtungen um ihren Stützpunkt zu drehen, die Last abwärts, die Kraft aufwärts; auch hier gleicht die Verschiedenheit der Wege, welche Kraft und Last zu durchlaufen haben, die Verschiedenheit ihrer Gewichte aus; auch hier hält also eine Kraft einer Last das Gleichgewicht, welche im umgekehrten Verhältnisse der Abstände, in welchen beide vom Stützpunkte wirken, oder der Hebelarme zu ihr steht.

Fig. 16.



Wir sehen übrigens dieselbe Form des Hebels in der Karre selbst, und das Hebelgesetz ist es, was uns die Leichtigkeit erklärlich macht, womit der Arbeiter die schwerbeladene Karre vor sich her schiebt. Es

ist derselbe einarmige Hebel, wie die Wagenrunge, mit welcher der Fuhrmann seinen Wagen hebt, um ein Rad von der Axe zu nehmen. Der Stützpunkt liegt hier bei der Karre in der Axe des Rades, und die Last wird diesem möglichst nahe gebracht, während die hebende Kraft in weiterem Abstande wirkt.

Das tägliche Leben zeigt uns den Hebel in einer Menge der verschiedensten Gestalten, obwohl die Anwendung häufig eine sehr absichtslose und unbewußte ist. Wenn zwei Menschen von verschiedener Kraft an einer Stange zwischen sich eine Last gemeinsam tragen, so hängen sie diese wohlweislich nicht genau in die Mitte, sondern der stärkere pflegt sie sich etwas näher zu rücken, um dem schwächeren die Last zu erleichtern. Jeder von ihnen trägt nämlich an einem einarmigen Hebel, dessen Unterstützungspunkt auf der Schulter des Andern liegt. Darum muß auch die schwächere Kraft in der größeren Entfernung von der Last angreifen, um nicht gegen die stärkere Kraft im Nachtheile zu sein. Aber auch selbst wenn wir ohne Hülfe eines Werkzeugs mit der bloßen Hand einen Gegenstand heben, bedienen wir uns eines Hebels. Unser eigener Arm ist ein Hebel, aber anderer Art freilich, als jene Tragstange oder der Hebebaum des Aufläders. Der Drehpunkt dieses Hebels liegt im Schultergelenke; der Muskel, der ihn durch seine Zusammenziehung bewegt, ist unterhalb dieses Gelenkes am Oberarmknochen befestigt; die Last, die er heben soll, wird aber von der Hand ergriffen, wirkt also in weiterem Abstande von dem Drehpunkte, als die hebende Kraft des Muskels. Nach dem bekannten Hebelgesetze wird aber eine in geringerer Entfernung vom Drehpunkte wirkende Kraft auch nur eine um so viel geringere Last zu heben vermögen. Die Muskelkraft des Armes muß also die zu hebende Last so viel mal übertreffen, als der Abstand der Hand den des Muskels vom Schultergelenke übertrifft. Unser Arm ist also kein Traghebel, er ist nicht bestimmt, Lasten zu heben oder zu tragen, und der Arbeiter handelt klug, der seine Last auf der Karre vor sich her schiebt, statt sie mühsam mit den Händen fortzuschleppen. Jeder weiß ja überdies, wie schwer es ist, einen Stuhl mit ausgestrecktem Arme zu halten. Unser Arm ist vielmehr ein Wurfhebel. So nennt der Physiker einen einarmigen Hebel, an welchem die Kraft zwischen Unterstützungspunkt und Last wirkt. Dieser Hebel hat nämlich nach dem Gesetze, daß die Verschiedenheiten von Kraft und Last durch die Verschiedenheiten der Wege oder der Geschwindigkeiten ihrer Bewegungen ausgeglichen werden, die Eigenschaft, daß, allerdings auf Kosten der Kraft, einer Last eine große Bewegung gegeben werden kann,

während die Kraft selbst nur geringe Bewegungen ausführt. Unser Arm ist also bestimmt, durch kaum bemerkbare Bewegungen des Muskels schnelle Bewegungen hervorzubringen.

Wie die Hebel in unserem eigenen Körper, so entgehen uns auch die mancherlei Formen des Hebels in den Werkzeugen, mit denen wir täglich umzugehen gewohnt sind. Die Ruder, mit denen wir den Kahn fortstoßen, sind Hebel, die wir gegen das Wasser stemmen. Alle unsere Spaten und Schaufeln, Zangen und Scheeren sind solche Hebel. Wir denken freilich nicht daran, wenn wir ein Blatt Papier schneiden; aber wenn wir, vom Dampfe getrieben eine langarmige Riesenscheere Eisenstangen von $1^1/_2$ Zoll Dicke und 6 Zoll Breite mit geringerer Schwierigkeit zerschneiden sehen, als wenn der Klempner mit seiner Handscheere ein Streifchen papierdünnen Messingblechs zertheilt, dann wundern wir uns über die gewaltige Kraft — doch freilich ja nicht des Hebels, sondern des Dampfes!

Die Mannigfaltigkeit der Formen des Hebels wächst, wenn wir bedenken, daß seine Arme nicht immer gerade sein müssen, daß sie auch krummlinig und im Winkel gebogen sein können, daß die Kräfte daran auch nicht immer parallel, sondern häufig in verschiedenen Richtungen an ihm wirken. In allen diesen Fällen bleibt das Gesetz dasselbe; nur müssen wir unter Hebelarmen dann stets die Abstände des Drehpunktes von den Richtungslinien der wirkenden Kräfte verstehen. Fassen wir den Hebel in dieser Allgemeinheit, so begegnen wir sogleich am Klingelzuge einem Winkelhebel, am Pumpenschwengel einem Hebel mit schiefwirkender Kraft, in der Thürklinke einem krummarmigen Hebel. Niemand fällt es wohl ein, daß, wenn er eine Thür öffnet, er es mit nicht weniger als drei verschiedenen Hebeln zu thun hat: dem zweiarmigen des Schlüssels, dem krummarmigen der Klinke und dem einarmigen der Thür selbst, wenn sie sich in ihren Angeln dreht.

Die Wage.

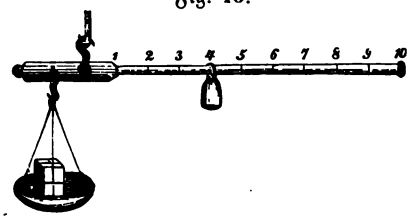
Eine der wichtigsten Formen des Hebels, in welcher er freilich am wenigsten die Rolle einer Maschine zu spielen scheint, und in welcher er gleichwohl die wunderbarsten Dinge verrichtet, die großartigsten Umwälzungen in der Wissenschaft wie in der Industrie geschaffen hat, ist die Wage. Sie war es, die der Naturwissenschaft ihre Sicherheit gab, indem sie strenges Gericht über die trügerische Beobachtung hielt;

sie war es, die den phantastischen „Feuergeist“ aus der Wissenschaft des vorigen Jahrhunderts vertrieb und die Chemie, die Physik, die Physiologie der Gegenwart begründete; sie war es, die den ewigen Kreislauf des Stoffes erkennen lehrte, indem sie ihn in seinen tausendfachen Wandlungen durch Luft und Erde, durch Pflanze und Thier verfolgte.

Der Zweck dieses wichtigsten Werkzeuges der heutigen Naturlehre ist einfach die Vergleichung von Massen. Nun haben wir als Grundbedingung für das Gleichgewicht am Hebel bei gleichen Abständen vom Drehpunkte die Gleichheit der Massen kennen gelernt; bei ungleichen Abständen aber wissen wir, daß im Falle des Gleichgewichts das Verhältniß der Massen oder wirkenden Gewichte durch das umgekehrte Verhältniß der Abstände vom Drehpunkte gemessen wird. Der Hebel wird also in allen Fällen, als einarmiger oder zweiarmiger, gleicharmiger oder ungleicharmiger, dazu dienen können, Massen zu vergleichen und durch einander zu messen, und dies nennen wir wägen.

Die einfachste Form der Wage ist natürlich der gleicharmige Hebel, wie ihn uns die Krämerwage so gut wie die feinste Wage des Chemikers darbietet. Indeß finden wir auch den Winkelhebel in der sogenannten Zeigerwage vertreten, wie sie auf Postämtern zum Abwägen der Briefe benutzt wird. Das allgemeine Hebelgesetz wird hier freilich wesentlich durch den Umstand beeinträchtigt, daß die gegenwirkende Last an dem einen Arme durch das Gewicht des Armes selbst ersetzt werden soll, der sich als Zeiger an einer Kreistheilung fortbewegt. Eine gleichmäßige Bewegung ist hier aber nicht zu erwarten, da die Gewichte an dem andern Arme nicht senkrecht, sondern in veränderlicher Richtung, also auch mit veränderlicher Kraft wirken. Die Bedeutung der einzelnen Theilpunkte läßt sich darum auch nur auf dem Erfahrungswege ermitteln. Diese Wage hat überhaupt nicht den Zweck einer genauen, sondern nur den einer möglichst schnellen Wägung.

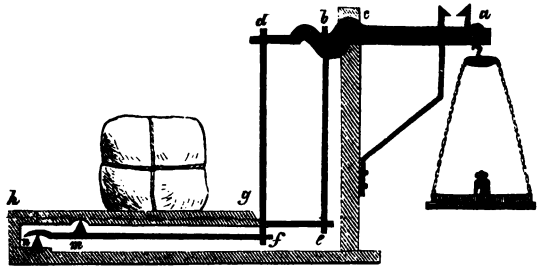
Fig. 16.



Auf dem Gesetze des ungleicharmigen Hebels beruht dagegen die Einrichtung der Schnellwage (Fig. 16), welche die Wägung großer Lasten erleichtert, da hier die größere Entfernung vom Drehpunkte die Wirkung des

Gewichtes zu ersetzen vermag. Die Last befindet sich hier am kürzeren Arme, das Gewicht am längeren. Das Gleichgewicht wird hergestellt durch Verschiebung dieses Laufgewichts, dessen Abstand vom Aufhängepunkte gerade um so viel den Abstand der Last vom Aufhängepunkte übertrifft, als sein Gewicht von dem der Last übertroffen wird. Weit bequemer und schneller aber geschieht die Wägung noch an der auf ähnlichen Grundsätzen beruhenden bekannten Brückenwage (Fig. 17). Hier wird der Wagebalken durch einen ungleicharmigen, mehrfach gekrümmten Hebel acbd von starkem Eisen gebildet. Der längere Arm ac, der die Wagschale trägt, ist 10mal so lang, als der kürzere Arm cb, an welchem die Last wirken soll. Ein Pfund in der Schale vermag also einer Last von 10 Pfunden das Gleichgewicht zu halten. Aber an dem kürzeren Hebelarme wirkt die Last hier nicht unmittelbar.

Fig. 17.



Statt der Wagschale ist hier eine eiserne Zugstange be angebracht, an welcher unten eine mit Blech beschlagene hölzerne Tafel gh, die sogenannte Brücke, hängt, die an ihrem Ende auf einer Schneide m ruht. Wäre diese Schneide fest, so würde sie natürlich einen großen Theil der auf der Brücke ruhenden Last tragen und deren Wirkung auf den Wagebalken beeinträchtigen. Deshalb ruht diese Schneide wieder auf einem Hebelarme fn, der an seinem Endpunkte n abermals durch eine Schneide unterstützt wird, während er am andern Ende durch eine zweite Zugstange fd mit der Verlängerung des kürzeren Hebelarmes der Wage in Verbindung steht. Die Schneiden und Zugstangen sind nun so angebracht, daß das Verhältniß zwischen mn und mf genau dasselbe ist, wie zwischen bc und bd. Dadurch wird bewirkt, daß, wenn durch Verlängerung des Hebelarmes bc um bd die Einwirkung der Last auf denselben vergrößert wird, diese Einwirkung wieder um genau so viel

verringert wird, indem man die Last auf den einarmigen Hebel n f im Abstande m n vom Drehpunkte wirken läßt. Die Last wirkt also genau so auf den Wagebalken, als ob die Zugstangen gar nicht vorhanden wären, und man sie unmittelbar in b angebracht hätte. Sie wirkt entsprechend dem Verhältnisse der Hebelarme b c und a c, und, da dies Verhältniß = 1 : 10 zu sein pflegt, in der Weise, daß das Gewicht in der Wagschale der 10fachen Last auf der Brücke das Gleichgewicht hält.

Man pflegt Wagen nicht gerade als Maschinen zu betrachten, die eine mechanische Arbeit zu verrichten haben. Gleichwohl hat der Hebel doch auch hier seine Bedeutung als hebendes Werkzeug. Er wird benutzt, unbekannte schwere Lasten zu heben, um ihr Gleichgewicht mit bekannten, als Maß- und Vergleichungseinheiten angenommenen Gewichten herzustellen. So einfach diese Arbeit auch ist, so bleibt sie doch nicht frei von den mancherlei Unvollkommenheiten mechanischer Arbeit. Wir wissen und werden auch die Gründe dafür erfahren, daß die Natur uns nirgends den ungeschmälerten Gebrauch einer Arbeitskraft gestattet, daß jedes Mühlrad mindestens $^1/_{12}$ der Wasserkraft durch Widerstände vernichtet, daß bei der besten Dampfmaschine sogar $^4/_5$ der vollen Dampfkraft verloren gehen. Solche Arbeitsverluste aber, und wären sie noch so klein, können uns bei der Wage nicht gleichgültig sein, da ihre Bedeutung für den öffentlichen Verkehr und noch mehr für die Wissenschaft wesentlich bedingt ist durch die Sicherheit, mit welcher sie den Stoff vermöge seiner Schwere auch in seinen kleinsten Theilen nachzuweisen vermag.

Die Prüfung jeder Maschine, welcher Art sie auch sein mag, wird sich stets vorzugsweise auf folgende drei Punkte zu erstrecken haben: 1) ob sie den allgemeinen Forderungen der Theorie Genüge leistet, 2) ob sie in der Anwendung wirklich leicht und sicher das gewährt, was die Theorie versprach, 3) ob ihre unvermeidlichen Mängel und Fehler nicht wenigstens bis zu einem gewissen Grade für die Zwecke des Gebrauchs unschädlich gemacht werden können?

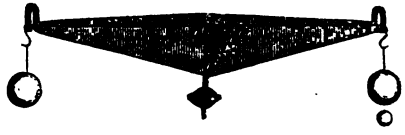
Was die Wage betrifft, wie sie im gewöhnlichen Verkehr, namentlich aber für feinere Wägungen benutzt wird, so fordert die Theorie, daß sie ein gleicharmiger Hebel sei, daß also ihre Arme genau gleich lang, oder daß die Aufhängepunkte der Schalen genau gleich weit von dem Aufhängepunkte des Wagebalkens entfernt, daß endlich Arme und Schalen genau gleich schwer seien. So einfach diese Forderung scheint, so unmöglich ist es in der Wirklichkeit doch, sie ganz streng zu erfüllen. Jedes Stäubchen auf dem Wagebalken, jede Ungleichheit in der Tem-

peratur seiner Arme muß die Richtigkeit der Wage stören. Streng genommen sind auch die besten Wagen falsche Wagen; nur können ihre Fehler so klein sein, daß man sie ohne Nachtheil vernachlässigen darf. Eine gröbere Unrichtigkeit läßt sich leicht erkennen. Wenn man nämlich zwei Lasten auf einer Wage in das Gleichgewicht gesetzt hat und sie dann ihre Plätze mit einander vertauschen läßt, so darf bei einer richtigen Wage das Gleichgewicht durchaus nicht gestört werden. Jede Aenderung in der Ruhelage des Wagebalkens wird also eine Unrichtigkeit der Wage anzeigen. Mit einer falschen Wage kann man gleichwohl richtig wägen, wenn man nämlich den zu wägenden Körper tarirt, d. h. mit beliebigen Gewichtsstücken, Schrotkörnern, Sand ꝛc. in's Gleichgewicht setzt, und dann an seine Stelle in derselben Schale bekannte Gewichte, Pfunde, Lothe, Gramme ꝛc. legt, die das Gleichgewicht wieder herstellen. Die Gewichte müssen hier offenbar die gleiche Wirkung wie der zu wägende Körper hervorbringen, und darum müssen sie ihm auch gleich sein.

Die Wage soll aber nicht blos richtig, sie soll auch empfindlich sein. Sie soll das Gleichgewicht durch eine bestimmte Lage des Wagebalkens, die horizontale oder wagrechte Lage, anzeigen, aber auch das geringste Uebergewicht durch eine Abweichung von dieser Lage verrathen. Durch diese Forderung ist die Aufhängung des Wagebalkens bedingt. Würde die Wage genau in ihrem Schwerpunkte aufgehängt, so würde sie im Falle des Gleichgewichts allerdings auch in Ruhe sein, aber diese Ruhe freilich in jeder Lage behaupten. Soll daher die Ruhelage eine bestimmte, und zwar die wagerechte sein, so muß der Aufhängepunkt senkrecht über oder unter dem Schwerpunkte liegen. Wird dann durch eine ungleiche Belastung der Arme der Schwerpunkt verrückt, so macht sich das Fallbestreben geltend, der Wagebalken fällt. Lag aber der Schwerpunkt über dem Unterstützungs- oder Aufhängepunkte, so wird er nicht von selbst dahin zurückkehren können, sondern seine Ruhe senkrecht unter dem Unterstützungspunkte suchen. Die geringste Ungleichheit in der Belastung seiner Arme würde das gänzliche Umschlagen des Wagebalkens in die senkrechte Lage zur Folge haben. Eine sichere Ruhelage also, in welche der Wagebalken nach jeder Störung wieder zurückkehrt, findet nur statt, wenn der Schwerpunkt senkrecht unter dem Aufhängepunkte liegt. Ein Uebergewicht bewirkt dann zwar kein Umschlagen, aber wohl eine deutliche Veränderung der Lage, eine Neigung des Wagebalkens nach der Seite des Uebergewichts, einen Ausschlag der Zunge. Je näher der Schwerpunkt unter dem Stütz-

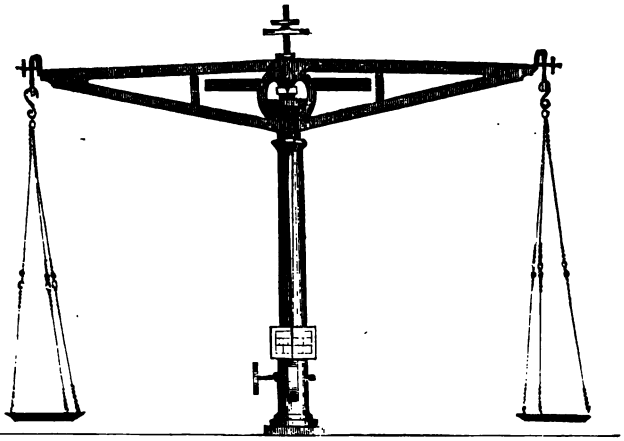
punkte des Wagebalkens liegt, desto empfindlicher ist die Wage. Denken wir uns den Aufhängepunkt des Wagebalkens in b, seinen Schwerpunkt in d, so werden die an den Enden desselben aufgehängten Gewichte, so lange sie gleich sind, keine andere Wirkung ausüben, als den Schwerpunkt in der Linie b d aufwärts näher nach b zu rücken; denn ihre Wirkung vereinigt sich in b als ihrem gemeinsamen Schwerpunkte. Bringen wir aber ein kleines Uebergewicht auf der einen Seite an, so fällt der gemeinsame Schwerpunkt der ungleichen Lasten nicht mehr in b, sondern seitwärts, der Seite des Uebergewichts zu, nach a. Der Schwerpunkt des belasteten Wagebalkens liegt daher jetzt zwischen d und a, also etwa in c. Soll aber die Wage wieder zur Ruhe kommen, so muß der Balken eine Bewegung machen, die den Schwerpunkt wieder senkrecht unter den Aufhängepunkt bringt; er muß sich also um den Winkel b d c drehen, der dem Ausschlagswinkel entspricht. Die Vergrößerung dieses Ausschlagswinkels, von welchem wieder die Empfindlichkeit der Wage abhängt, läßt sich nun offenbar in doppelter Weise erreichen, einmal durch Verkleinerung von b d, also durch eine Annäherung des Schwerpunktes an den Aufhängepunkt, dann auch durch eine Verlängerung der Entfernung b a, also durch möglichst lange Wagebalken. Es gibt endlich noch ein drittes Mittel, den Schwerpunkt weiter hinaufzurücken und dadurch den Ausschlagswinkel zu vergrößern, das ist die möglichst große Leichtigkeit des Wagebalkens. Denn um je mehr das vereinigte Gewicht der am Wagebalken wirkenden Lasten das in d vereinigte Gewicht des Wagebalkens selbst übertrifft, um so näher muß auch ihr gemeinsamer Schwerpunkt c dem ersteren rücken. So leicht aber auch diese Bedingungen für eine große Empfindlichkeit der Wage zu erfüllen scheinen, so müssen sie doch innerhalb gewisser Grenzen gehalten werden, wenn sie nicht neue Uebelstände herbeiführen sollen. Bei einer zu großen Annäherung des Aufhängepunktes an den Schwerpunkt kann es dahin kommen, daß eine gewisse Größe des Gewichts der zu wägenden Lasten, das stets ein Höherrücken des Schwerpunktes zur Folge haben wird, geradezu das Zusammenfallen des Schwerpunktes mit dem Aufhängepunkte, also das völlige Umschlagen der Wage bewirkt. Jedenfalls werden bei einer zu großen Empfindlichkeit

Fig. 18.



der Wage ihre Bewegungen so unruhig, die Schwingungen des Wagebalkens so langsam und andauernd, daß Wägungen damit eine außerordentliche Geduld beanspruchen. Bei minder feinen Wägungen, wie sie im gewöhnlichen Leben vorkommen, verzichtet man daher lieber auf diese große Empfindlichkeit, und gibt dem Schwerpunkte der Wage lieber eine tiefere Lage. Aber selbst bei den feinen Wagen, wie sie zu wissenschaftlichen Zwecken dienen, sucht man wenigstens dem Anwachsen ihrer Empfindlichkeit bei größerer Belastung durch mancherlei sinnreiche Vorkehrungen entgegenzuwirken. Gewöhnlich bringt man in der Mitte des Wagebalkens eine kleine Schraube an, durch deren Auf- und Niederschrauben zugleich auch der Schwerpunkt auf- und niedergerückt werden kann. Bisweilen aber benutzt man auch zur Regulirung des

Fig. 19.



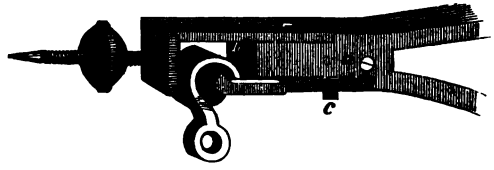
Schwerpunktes einen Umstand, der auf den ersten Anschein als ein Uebelstand gelten könnte. Um nämlich dem Wagebalken, wie es sich als eine Folgerung aus der Theorie ergab, bei möglichster Länge zugleich die möglichste Leichtigkeit zu geben, pflegt man ihn hohl oder durchbrochen zu arbeiten. Jeder Wagebalken aber, wie fest und stark er auch sei, wird durch die angehängten Lasten gebogen, und zwar um so mehr, je größer diese sind. Wenn auch für das Auge nicht bemerkbar, äußert diese Biegung doch einen Einfluß auf die Wägung, indem sie die Aufhängepunkte der Schalen und damit den gemeinsamen Schwerpunkt der

Wage tiefer legt, also die Empfindlichkeit der Wage schwächt. Gibt man nun aber allen Theilen der Wage ein solches Verhältniß, daß die Biegung des Balkens den gemeinsamen Schwerpunkt genau so weit abwärts bringt, als der Zuwachs der Gewichte ihn aufwärts rücken würde, so wird diese Biegung gerade zu einem Mittel, um jede Wägung auf einer solchen Wage mit fast gleicher Genauigkeit auszuführen.

Es gibt aber noch andere Hindernisse, welche sich der Brauchbarkeit einer Wage entgegenstellen, mag sie noch so richtig, noch so empfindlich gebaut sein, Hindernisse, die mit jeder Maschine, mit jeder Bewegung verbunden sind. Von einer brauchbaren Wage muß vor Allem verlangt werden, daß ihre Bewegungen frei und ungehindert erfolgen, und selbst die Doppelwägung bei einer unrichtigen Wage setzt voraus, daß die Bewegungen bei der zweiten Wägung genau so, wie bei der ersten geschehen. Aber keine Bewegung geschieht ohne Hindernisse, und das allgemeine Hinderniß ist die Reibung. Da diese nun außer von der Größe des Druckes auch von der Größe der Berührungsfläche und von der stofflichen Natur, namentlich der Härte der sich berührenden Körper abhängt, so pflegt man dem Zapfen, auf welchem der Wagebalken ruht, bei einer guten Wage nicht die Form einer Walze, sondern eine nach unten zugeschärfte, keilförmige Gestalt zu geben, verfertigt ihn überdies aus gehärtetem Stahl und läßt ihn auf einer gut geschliffenen Stahl- oder Achatplatte ruhen.

Endlich muß auch dafür gesorgt werden, daß nicht durch die Aufhängung der Wagschalen eine Ungleichheit der beiden Hälften des Wagebalkens, namentlich ihrer Längen herbeigeführt werde. Das würde

Fig. 20.



aber schon durch Abnutzung der Ringe, an welchen die Schalen hängen, geschehen können. Man pflegt daher diese Ringe oder Haken sehr breit zu machen, so daß die Last auf möglichst vielen Punkten ruht, und läßt sie auf einer ebenfalls breiten, oben sehr scharfen Stahlschneide hängen, die am Ende des Wagebalkens befestigt ist. Außerdem bringt man mehrere Schrauben in a b c an, um diese Stahlschneide beliebig

heben und senken, nach rechts oder links bewegen, von dem mittleren Zapfen entfernen oder ihm nähern zu können, wenn ja noch irgend eine Ungleichheit in der Aufhängung der beiden Wagschalen übrig geblieben sein sollte. Kleine Schrauben an den beiden Enden des Wagebalkens, durch welche sich kleine Messingscheiben hin und her bewegen lassen, dienen vollends dazu, kleine Gewichtsunterschiede der beiden Wagebalkenarme auszugleichen.

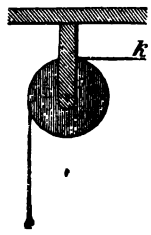
So ist die Wage in der That nicht mehr das einfache Instrument, wie es nach den Forderungen der Theorie anfangs schien, und wie es sich im bürgerlichen Handel und Wandel wohl auch erhalten hat. In der Verfeinerung, welche sie durch die Wissenschaft erfahren, ist die Wage ein Kunstwerk geworden, würdig derselben Bewunderung, wie die kunstvollen Werkzeuge des Astronomen, wie das Mikroskop, mit dem man das Leben der Zelle und des Wassertropfens belauscht, wie jene feinen Instrumente des Physikers, mit welchen wir ihn die elektrischen Ströme der Muskeln beobachten, die Schwingungen des Lichtes messen sehen werden. Sollen die Leistungen den Maßstab für unsere Bewunderung abgeben, so können wir in der That schwanken, ob wir die 500—800-fache Vergrößerung eines kleinen Gegenstandes für unser Auge, oder die feine Wägung höher anschlagen sollen, welche uns gestattet, noch den 30,000sten Theil eines Pfundes, ein Korn nach neuem preuß. Gewicht, durch die Wage zu erkennen. Denn dahin geht in der That die mäßigste Forderung, welche der Physiker an die Wage stellt, die er zu seinen Zwecken gebrauchen will. Geschickte Künstler haben es indeß noch viel weiter gebracht und Wagen von einer solchen Empfindlichkeit gebaut, daß sie bei einer Belastung von 1 Pfunde noch für den zwölfmillionten Theil eines Pfundes oder den 400sten Theil eines Kornes, also etwa den 1460sten Theil eines Waizenkorns einen Ausschlag geben.

Daß solche Wagen in der Geschichte der Wissenschaft eine Rolle spielen konnten, daß solchen Wagen man glänzende Entdeckungen auf den Gebieten der Chemie und der Physiologie der Pflanzen und Thiere, wie des Menschen verdankte, daß man an der Hand solcher Wagen in die Tiefen des Himmels, wie der Erde, selbst in die geheime Werkstatt des Gedankens einzudringen vermochte, begreift sich nun leicht. Im Alterthum war es die rohe Wage in der Hand der Schicksalsgöttin, welche die Geschicke der Menschen abwog. Heute, von der Wissenschaft verklärt und von der Industrie zu ihrem Symbol erhoben, hat sie nicht mehr Rechte zu messen, sondern Arbeitskräfte, nicht mehr über Geschicke zu richten, sondern über Thatsachen der Wissenschaft.

Rolle und Wellrad.

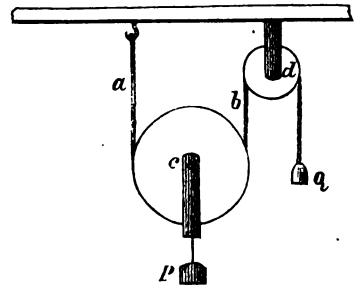
Wenn das Wesen der Maschine darin besteht, Kräfte zu übertragen auf Punkte, welche nicht in der Richtung der bewegenden Kraft liegen, so ist der Hebel das wahre Urbild einer Maschine. Hier sahen wir die Last an dem einen, die Kraft an dem andern Hebelarme wirken, die Last sich aufwärts, die Kraft sich abwärts bewegen. Gewöhnlich verband sich mit dieser Uebertragung von Kräften zugleich eine Krafterspärung. Man suchte schwere Lasten durch geringere Kräfte zu heben, und erreichte das dadurch, daß man Kraft und Last an ungleichen Hebelarmen wirken ließ, jene in größerer, diese in geringerer Entfernung vom Stützpunkte. Wo es nur einer Uebertragung der Kraft, einer Verwandlung der abwärts gerichteten Bewegung in eine aufwärts gerichtete, einer ziehenden in eine hebende gilt, da wird man also auch stets nur gleicharmiger Hebel bedürfen. Aber man wird ihnen dann für diesen einfachen Zweck auch die passende Gestalt geben müssen. Man wird zunächst nicht langer Hebelarme bedürfen, denn diese waren ja nur nöthig, um den erforderlichen Abstand für den Angriff der hebenden Kraft zu gewinnen. Man wird ihnen ferner eine kreisrunde Form geben müssen, da die Seile, an welchen Kraft und Last in den meisten Fällen wirken, zu große Reibungswiderstände erfahren würden, wenn sie über scharfe Kanten laufen sollten. Wir erhalten also für Hebel, die nur dazu bestimmt sind, die Richtung einer Bewegung zu verändern, die Gestalt einer kleinen kreisrunden Scheibe oder vielmehr schmalen Walze, die um ihre feste Axe drehbar ist, und um deren äußeren Rand ein Seil oder eine Schnur gelegt ist, an welcher Last und Kraft wirken. Wir erhalten somit eine Rolle (Fig. 21), wie sie Jedem aus den vielfachen Anwendungen bekannt ist, welche sie im Leben überall da findet, wo Lasten aufwärts gezogen werden sollen, und wo die Zugkraft nur horizontal oder nach abwärts wirken kann. Eine Krafterspärung wird durch diese feste Rolle, die der Physiker mit Recht als Richtungsrolle bezeichnet, nicht erzielt; denn Kraft und Last wirken ja an dem Umfange der Rolle, also in gleichen Abständen vom Drehpunkte des Hebels, und müssen

Fig. 21.



nach dem Hebelgesetze einander gleich sein, um einander das Gleichgewicht zu halten. Wohl aber kann eine Kraftersparniß erreicht werden, wenn man eine bewegliche Rolle anwendet. Man erhält eine solche, wenn man das eine Ende des Seiles (a) befestigt, die Last an die Axe der Rolle (c) hängt und die Kraft an dem andern freien Ende des Seiles wirken läßt. Wir haben es dann in der That mit einem einarmigen Hebel bca zu thun, der in b seinen Stützpunkt hat, und in dessen Mitte die Last hängt, während die Kraft in dem doppelten Abstande am Umfange der Rolle c wirkt.

Fig. 22.

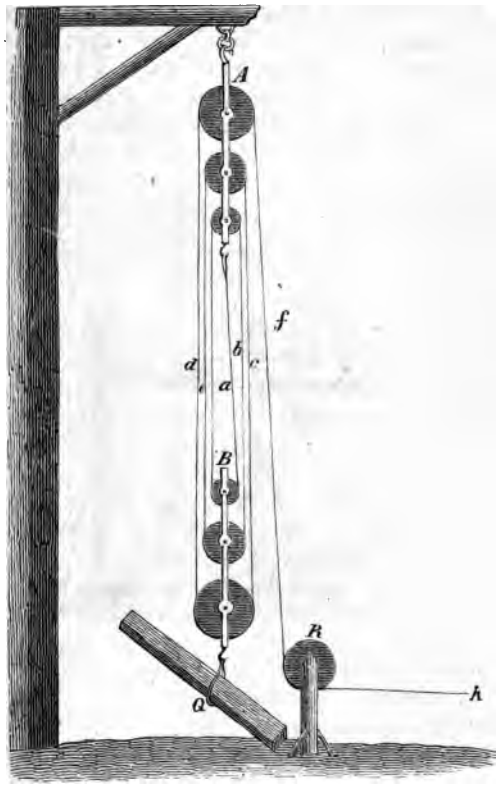


Nach dem Gesetz des Hebels wird also an der beweglichen Rolle eine Kraft einer doppelt so großen Last das Gleichgewicht zu halten vermögen. Gewöhnlich verbindet man mit dieser beweglichen Rolle eine feste (d), um zugleich die Richtung der bewegenden Kraft in seinem Belieben zu haben, ohne sich doch in der Reibung einen Feind zu schaffen. Wir sehen das bei unsern Kronleuchtern und Hängelampen und bei den alten, durch die Gasbeleuchtung meist verdrängten Straßenlaternen. Wir können uns dabei auch recht sichtlich von dem mit jeder Kraftersparung bei Hebeln verbundenen Umstande überzeugen, daß nämlich die Kraft einen doppelt so großen Raum durchlaufen muß, als die doppelt so große Last. Die Laterne hängt ja an einem doppelten Seile, und das über die obere feste Rolle herabhängende Seil muß also um doppelt so viel herabgezogen werden, als jenes sich verkürzt. Die Laterne bewegt sich nur um die halbe Strecke aufwärts, durch welche das freie Ende des Seiles niederwärts gezogen wird.

Eine bedeutende Kraftersparniß kann erzielt werden, wenn man mehrere bewegliche Rollen mit einander verbindet, und zwar wird man mit derselben Kraft gerade die sovielfache Last zu heben vermögen, als die Zahl der Rollen beträgt. Eine Anwendung derselben sehen wir in dem Flaschenzuge gemacht, mit Hülfe dessen man schwere Lasten auf Speicher, oder Balken auf neuerrichtete Gebäude emporzieht. Ein solcher Flaschenzug besteht aus zwei Kloben, in deren jedem sich eine Reihe von Rollen, *in der Regel drei, befinden*. Der eine Kloben A

ist oben befestigt, der andere Kloben B ist beweglich und trägt unten die Last. Ein langes Seil, das abwechselnd um diese Rollen geschlungen und endlich über eine am Boden befestigte Richtungsrolle R geleitet ist, wird durch Pferde angezogen. Die Last kann natürlich nur durch Verkürzung der 6 tragenden Theile des Seiles a b c d e f gehoben werden, wogegen derjenige Theil des Seiles, an welchem die Kraft wirkt, sich um ebenso viel verlängern muß, als jene 6 Theile sich verkürzen. Die Kraft sinkt also durch eine 6 mal so große Strecke, als die Last steigt, und es ist selbstverständlich, daß das Gleichgewicht nur stattfindet, wenn die Kraft 6-mal von der Last an Gewicht übertroffen wird. So wird es möglich, daß ein Pferd, welches sonst nur etwa 16 Centner zog, mit Hülfe des Flaschenzuges 96 Centner aufwärts zieht.

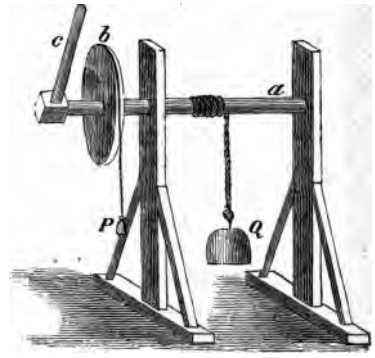
Fig. 23.



Wenn man dem Hebel die Gestalt einer Rolle oder einer schmalen Walze gibt, so ist die verminderte Reibung, welche mit jeder Richtungsveränderung der wirkenden Kraft verbunden ist, nicht der einzige Vortheil, der dadurch erzielt wird. Ein viel wichtigerer Gewinn ist häufig

die Umwandlung der stoßförmigen, unterbrochenen Bewegung der gewöhnlichen Hebelstange in eine ununterbrochen fortdauernde gleichmäßige Bewegung. Jede Rolle kann als ein einarmiger Hebel betrachtet werden; an ihrem Umfange wirkt die Kraft, in ihrem Mittelpunkte die Last. Befestigt man aber zwei Rollen von verschiedenem Durchmesser an einer gemeinsamen Axe, so stellen diese jetzt einen zweiarmigen Hebel dar, dessen längeren Hebelarm die größere Rolle, dessen kürzeren die kleinere Rolle bildet. Läßt man an dem längeren Hebelarme die Kraft, an dem kürzeren die Last wirken, so werden Kraft und Last im umgekehrten Verhältniß der Durchmesser der betreffenden Rollen stehen. Man erhält auf diese Weise das Wellrad, dessen größere Rolle, die aber auch durch eine einfache Hebelstange oder eine Kurbel ersetzt werden kann, als Rad bezeichnet wird, während die kleinere Rolle, an welcher die Last sich befindet, die Welle heißt. Die Bewegung geschieht hier durch Umdrehungen des Rades, und die dadurch bewirkten kleinen Hebungen werden durch Aufwinden eines Seiles auf der Welle zu einer einzigen großen Hebung zusammengesetzt. Haspel (Fig. 24), Göpel, Erdwindezeigen die einfachen Formen dieses Wellrades, wie es zur Hebung großer Lasten benutzt wird.

Fig. 24.



Aber diese Hebung ist nicht der einzige Zweck, dem es dient. Auch die Räder unserer Wagen und Karren sind Wellräder.

Auf den ersten Anschein möchte man den Grund für die runde Walzenform unserer Wagenräder einzig darin sehen, daß sie am geeignetsten ist, die Reibung der Last am Boden zu vermindern. Jeder weiß ja, wie leicht die Elfenbeinkugel auf der polirten Platte dahinrollt, wie der leiseste Stoß sie zu bewegen vermag. Jeder weiß aber auch, wie schwerfällig dagegen der eckige Würfel, der breite Klotz erscheint, wie man unabläßig und mühsam schieben oder ziehen muß, um ihn von der Stelle zu bringen. Die Kugel freilich berührt auch den Boden nur in einem einzigen Punkte oder doch mit einer so kleinen Fläche,

daß sie nur sehr wenigen Unebenheiten desselben auf einmal begegnen und leicht über diese hinschweben kann. Der Würfel stößt mit seiner breiten Fläche gegen zahllose Unebenheiten des Bodens, deren Widerstände die hemmende Reibung vermehren. In der Kugel ist gleichsam das Princip der Bewegung, im Würfel das der Ruhe und Festigkeit verkörpert. Leicht ist der Schwerpunkt der Kugel, der fast nur in einem Punkte seine Unterstützung findet, verrückt, und die Kugel zum Fallen, zum Rollen gebracht. Lange dagegen müssen wir heben und schieben, ehe wir den Schwerpunkt des Würfels über seine breite Unterstützungsfläche hinausgerückt und den Umsturz des Würfels bewirkt haben. Nicht besser konnten darum die alten Griechen die Göttin des Glücks zeichnen, als wenn sie sie auf die schwebende Kugel stellten, oder ihr das rollende Rad zum Symbol gaben, während sie ihren Altären als den Symbolen der Festigkeit und Ewigkeit die Würfelform liehen. Bei der Walze ist die Beweglichkeit, die wir bei der nur in einem Punkte unterstützten Kugel nach allen Seiten hin stattfinden sehen, auf eine einzige Richtung beschränkt, auf die, in welcher die Last fortbewegt werden soll. Darum sehen wir überall, wo eine Bewegung in bestimmter Richtung bezweckt wird, den Rädern, die dazu dienen sollen, die Form einer kurzen, um eine Axe drehbaren Walze gegeben, die also in einer geraden Linie unterstützt ist, mit welcher sie den Boden berührt. Bald sind diese Walzen breiter, damit sie nicht zu tief in den Boden einschneiden, bald sind sie schmal und glatt, um die Reibung möglichst zu verringern.

Aber unsere Wagenräder sind nicht blos Walzen, sondern auch Wellräder. Denn auch die Axen, um welche sie sich drehen, sind Walzen von kleinem Durchmesser. Die Last des Wagens und seiner Ladung, die zunächst auf den Axen ruht, ist es nicht eigentlich, welche die Pferde fortzuziehen haben. Diese Last wird, auf ebener Straße wenigstens, vollkommen von dem Erdboden getragen und aufgehoben. Die wirkliche Last, welcher die Zugkraft entgegen wirken soll, ist die Reibung, welche die Räder bei ihrer Umdrehung an der Axe erleiden. Die Pferde haben also nur die Umdrehung der Räder zu bewirken, aber diese ist auch nur möglich vermöge der Reibung, welche die Räder an ihrem Umfange auf der Straße erfahren. Auf völlig ebener Bahn, etwa auf glatter Eisbahn, drehen sich die Räder nicht, sondern gleiten. So wirkt also die Zugkraft der Pferde am Umfange der Räder, deren Umdrehung sie bewirkt, und dieser Umdrehung wirkt entgegen als Last die Reibung an der Axe. So findet das Gesetz des Hebels, wie wir

es für das Wellrad aufstellten, auch hier Anwendung. Die Kraft steht zur Last in demselben Verhältniß, wie der Durchmesser der Axe zum Durchmesser des Rades. Es ist also vortheilhaft, den Durchmesser der Axe möglichst klein, den des Rades möglichst groß zu machen. Nur wird die Höhe der Räder darin eine Grenze finden, daß zu hohe Räder auch den Schwerpunkt des Wagens zu hoch rücken und dadurch sein Umfallen erleichtern.

Wenn wir das Wellrad bisher in Winden und Haspeln und selbst in Wagenrädern dazu dienen sahen, Lasten mit möglichst geringer Kraftanwendung zu heben oder fortzubewegen, so verdankt es doch seine weitgreifendste und nützlichste Verwendung gerade einer Eigenschaft, die nichts mit Krafterſparung, eher mit dem Gegentheile zu thun hat. Diese Eigenschaft ist die Fähigkeit, Bewegungen fortzuleiten und zu übertragen mit veränderter Richtung oder veränderter Geschwindigkeit. Wenn das Wasser auf die Schaufeln des Mühlrades, oder der Wind in die Segel der Windmühlenflügel fällt, so sind Mühlrad und Mühlenflügel allerdings Wellräder, und die Wirkung des Stoßes wird in dem Maße erhöht, als die Welle von dem Rade an Durchmesser übertroffen wird. Aber die Bewegung der Welle ist eine langsame und in ihrer Richtung bestimmte. Drinnen in der Mühle aber soll eine Menge von Bewegungen der verschiedensten Art, zum Theil von großer Geschwindigkeit und nach allen möglichen Richtungen ausgeführt werden. Dazu muß die Bewegung der Welle in geeigneter Art auf andere Wellräder übertragen werden, und dies geschieht mit Hülfe gezahnter Räder. Es sind Räder, die entweder an ihrem äußeren Umfange Hervorragungen oder Zähne trägen, sogenannte Stirnräder, oder die solche Zähne seitwärts senkrecht auf der Radfläche haben, Kammräder. Es sind ferner Trillinge oder Getriebe, deren Zähne durch Triebstöcke vertreten sind, oder aus hohlen oder massiven, cannelirten Walzen, oder gar nur aus Stangen, die zwischen zwei Kreisscheiben befestigt sind, bestehen. Die Zähne jedes Rades greifen in die Lücken zwischen den Zähnen eines andern ein und treiben dasselbe um mit einer Geschwindigkeit, welche dem Verhältniß entspricht, in welchem die Anzahl der Zähne des einen Rades zu dem des anderen steht. Ein Rad mit 100 Zähnen wird einem Rade mit 10 Zähnen die 10fache Geschwindigkeit ertheilen. Durch eine sinnreiche Verbindung solcher gezahnten Räder ist es gelungen, gleichmäßige Bewegungen von so außerordentlicher Geschwindigkeit zu bewirken, daß wir sie dazu benutzt sehen werden, selbst die wunderbare Geschwindigkeit des Lichtes zu

messen. Greift eine liegende Welle in die Zähne einer stehenden ein, so wird die Bewegung in einer Richtung übertragen, die gerade senkrecht auf der ursprünglichen steht, und es ist selbstverständlich, daß diese Uebertragung in jeder Weise fortgesetzt werden kann. So sehen wir in der That überall, wo der Mensch seine Maschinen aufgestellt hat, welche treibende Kraft er dabei auch in Anwendung gebracht, das Wellrad eine Rolle spielen.

Von den kleinen Rollen unserer Vorhänge bis zu den Klobenzügen, mit denen der Schiffer seine Segel und Segelstangen aufrichtet, bis zu den Göpeln, mit denen der Bergmann seine Erze aus tiefen Schachten fördert, von den Rädern unserer Karren und Wagen bis zu den gewaltigen Triebrädern der Mühlen und Dampfschiffe, von den kleinen Cylindern und Zahnrädchen unserer Taschenuhren bis zu den riesigen Eisenrädern der Maschinen ist Alles nur Hebel und Rolle und Wellrad in mannigfacher Gestalt und Verknüpfung. Welche Kraft es auch sei, der Zug eines Gewichtes oder der Druck einer Feder, die Muskelkraft des Menschen oder der Thiere, der Stoß des Windes, des Wassers oder des Dampfes, immer ist sie demselben Gesetze unterworfen, und der Hebel vermehrt ihre Wirkung, indem er die Geschwindigkeit der Bewegung verringert; die Rolle oder Walze schwächt die Hindernisse der Reibung, welche die Richtungsveränderung der wirkenden Kraft bereitet; das Wellrad verwandelt den vereinzelten Stoß in eine gleichmäßig fortschreitende Bewegung.

Fall- und Wurfbewegung.

Wir haben uns bisher nur um die Gesetze des Gleichgewichts fester Körper bekümmert, um die Vortheile, welche uns bei der Hebung oder Bewegung schwerer Lasten daraus erwachsen, daß wir die bewegende Kraft nicht unmittelbar, sondern durch Hebel und Rollen und Räder wirken ließen, um die Veränderungen, die wir durch solche Mittel in Richtung oder Geschwindigkeit der ursprünglichen Bewegung herbeiführen können. Um die bewegende Kraft selbst, ihren Ursprung, ihre Beschaffenheit haben wir uns noch nicht bekümmert. Wir betrachteten nur ihre Wirkung selbst als einen einmaligen augenblicklichen Stoß, und wußten auch den schiefen Stoß nach dem Gesetze des Kräfteparallelogramms stets in einen geraden umzuwandeln, dessen Stärke dann einfach der Größe der Bewegung, d. h. dem Product aus der

Masse und Geschwindigkeit des stoßenden Körpers entspricht. Bei vielen der bewegenden Kräfte, deren der Mensch sich bedient, um eine Bewegung, mit andern Worten eine Arbeit auszuführen, kann man die Wirkung allerdings als einen solchen Stoß auffassen, aber doch nicht bei allen, und gerade bei den weitverbreitetsten nicht. Alle Kräfte, durch die man Maschinen in Bewegung setzt, der einfachsten, wie der zusammengesetztesten Art, können nur aus dem allgemeinen großen Kräftevorrathe der Natur geschöpft werden. Schaffen kann der Mensch keine Kraft. Die zunächst gebotene bewegende Kraft in der Natur, und die wohl am ersten benutzte und am meisten ausgebeutete, ist die Muskelkraft der Menschen und Thiere. In unsern Maschinen aber sehen wir heutzutage ganz andere bewegende Kräfte thätig, und unter diesen ist gerade die am freiesten sich darbietende die geheimnißvollste. Wir sehen Mühlen getrieben vom strömenden Wasser, Schiffe den Fluß hinabgleiten zum Meere. Was ist hier die bewegende Kraft? Es ist der Fall des Wassers von den Bergen zum Thale, von dem Lande zum Meere, von wo es verdunstend wieder aufsteigt in Dampfgestalt, um abermals verdichtet in Quellen und Bächen und Strömen zum Meere zu fallen. Der Mensch benutzt diesen ewigen Kreislauf in der Natur: den aufsteigenden Theil, um durch den Stoß des Windes seine Windmühlen und Segel treiben zu lassen, den absteigenden, um durch den Fall des Wassers Mühlräder umtreiben, Schiffe abwärts tragen zu lassen. Die bewegende Kraft in der Mühle ist also dieselbe, wie in unsern Pendeluhren: das *Fallbestreben* der Körper unter der Wirkung der allgemeinen Schwerkraft der Erde.

Wenn aber das Fallbestreben eine der verbreitetsten und am meisten benutzten bewegenden Kräfte in der mechanischen Arbeit des Menschen ist, so ist freilich seine Wirkung keine solche, die wir uns noch als Stoß vorstellen könnten. Die Anziehungskraft der Erde wirkt unaufhörlich auf den fallenden Körper ein, sie ist keine augenblicklich wirkende Kraft, und die Bewegung, welche sie hervorruft, kann darum auch keine gleichförmige sein. Wir haben hier also noch besonderen Gesetzen der Bewegung nachzuforschen.

Da die Schwere in jedem Zeittheilchen mit gleicher Stärke auf einen fallenden Körper beschleunigend einwirkt, so muß sie auch seine Geschwindigkeit in jedem Zeittheilchen um gleich viel vermehren. Die Beschleunigung der Bewegung ist also eine gleichmäßige, die *Geschwindigkeit wächst in demselben Verhältniß, wie die Zeit*. Nennen wir die am Ende der ersten Secunde erlangte Ge-

schwindigkeit eines fallenden Körpers 2 g, so wird sie am Ende der 2. Secunde = 4 g, am Ende der 3. Secunde = 6 g ꝛc. sein. Wenn aber die Geschwindigkeiten in jedem Zeittheilchen andere sind, so können auch die Räume, welche durchlaufen werden, nicht gleich sein und nicht den Zeiten entsprechen. Wenn die Geschwindigkeit, mit welcher ein fallender Körper sich am Anfange der 2. Secunde bewegt, = 2 g, und seine Geschwindigkeit am Ende der 2. Secunde = 4 g ist, so wird der Raum, durch den er in der 2. Secunde wirklich gefallen ist, offenbar der mittleren Geschwindigkeit = 3 g entsprechen. Und wenn seine Anfangsgeschwindigkeit in der 3. Secunde = 4 g, und seine Endgeschwindigkeit = 6 g ist, so wird er in dieser Secunde einen Raum = 5 g durchfallen haben. Die Fallräume in den einzelnen Secunden verhalten sich also wie die ungeraden Zahlen 1, 3, 5 ꝛc. Endlich aber kann auch, da die Fallräume mit jeder Secunde zunehmen, der ganze Raum, den ein Körper in einer Anzahl von Secunden durchfällt, nicht in einem einfachen Verhältniß zu dieser Zeit stehen. Hat ein fallender Körper in der 1. Secunde einen Raum = 2 g, in der 2. Secunde einen Raum = 3 g durchlaufen, so ist der in 2 Secunden zurückgelegte Raum überhaupt = 4 g. Kommt in der 3. Secunde noch ein Fallraum = 5 g hinzu, so hat er in 3 Secunden überhaupt 9 g durchfallen. Nach 4 Secunden aber wird der gesammte Fallraum auf 16, nach 5 Secunden auf 25 g angewachsen sein. Es verhalten sich also die Fallräume nicht wie die Zeiten selbst, sondern wie die Quadrate der Zeiten. Abgesehen vom Widerstande der Luft, allein gezogen von der Schwerkraft, also im leeren Raume, fällt ein Körper in der ersten Secunde ungefähr 15 Par. Fuß. Er wird also in 2 Secunden durch $4 \times 15 = 60$ Fuß, in 3 Secunden durch $9 \times 15 = 135$ Fuß, in 4 Secunden durch $16 \times 15 = 240$ Fuß fallen.

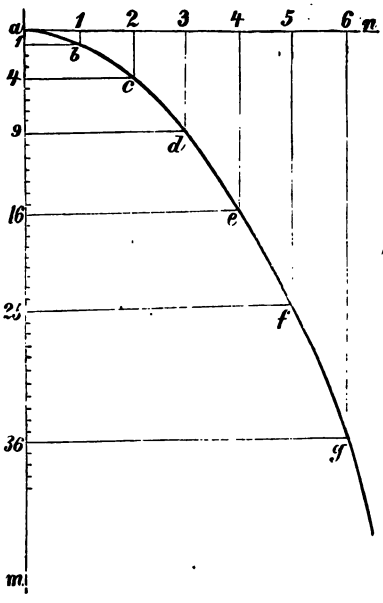
Diese zuerst von Galilei im Jahre 1602 aufgefundenen Fallgesetze gelten überall, wo ein Körper fällt, gleichviel, unter welchen Umständen, gleichviel, abgesehen von den Widerständen der Luft oder den Hindernissen der Reibung, ob ein Körper frei, oder ob er auf einer schiefen Ebene herabfällt. Nur wird im letzteren Falle die Bewegung langsamer erfolgen, da nicht die ganze Schwerkraft, sondern nur ein Theil derselben, der zur ganzen im Verhältniß der Höhe zur Länge der durchfallenen schiefen Ebene steht, auf den Körper einwirkt. Die Gesetze behalten ebenso ihre Gültigkeit, mag ein Stein fallen, oder mögen wir einen Ball werfen, oder eine Kugel aus dem Laufe eines

Gewehres schießen, mögen wir aufwärts oder abwärts oder horizontal werfen und schießen. Ein senkrecht aufsteigender Körper wird dieselbe Zeit zum Steigen wie zum Niederfallen gebrauchen und seinen höchsten Punkt dann erreichen, wenn diese Höhe gerade so groß ist, wie der Raum, den der fallende Stein in der gleichen Zeit durchlaufen haben würde. Er wird mit derselben Geschwindigkeit zum Boden zurückkehren, mit welcher er zu steigen anfing. Denn eine Kraft kann hemmend und verzögernd in keiner anderen Weise und nach keinem anderen Gesetze wirken, als sie beschleunigend wirkt.

Das Gesetz des Falles reicht so weit, als überhaupt die Anziehungskraft reicht, und wird auch dann nicht seiner Geltung beraubt, wenn andere Kräfte ihre Wirkungen mit der Wirkung der Schwerkraft vermischen. Allerdings kann die Bewegung, die durch zwei gleichzeitig wirkende Kräfte veranlaßt wird, nicht mehr eine einfache, sondern muß eine zusammengesetzte sein. Der Körper kann nicht, wenn auch die eine Kraft ein einfacher Stoß ist, der geraden Richtung desselben folgen, sondern muß der Diagonale des aus beiden Kräften gebildeten Parallelogramms nachgehen. Ist nun aber die andere der beiden wirkenden Kräfte eine stetig und beschleunigend wirkende, wie die Schwerkraft der Erde, tritt also in jedem Augenblicke gleichsam eine neue verstärkte Kraft ein, so kann die zusammengesetzte Bewegung auch nicht mehr als die Diagonale eines einzigen Kräfteparallelogramms dargestellt werden, sondern vielmehr als eine krumme Linie, welche durch eine ununterbrochene Folge solcher gleichsam wachsender Parallelogramme entsteht.

Eine solche zusammengesetzte Bewegung ist offenbar die eines geworfenen Körpers, und ein gegen die Wand geworfener Ball, der in einem Bogen davon zurückspringt, wird uns am einfachsten diese Wurfbewegung darstellen. Es sind hier zwei Kräfte wirksam, der Stoß, den der Ball beim Anprallen von der Wand erhält, und der ihn gradlinig von a nach n treiben würde, und die Schwerkraft, die ihn von a nach m zu ziehen strebt. Die erstere ist eine nur augenblicklich wirkende Kraft, die den Ball in jedem Zeittheilchen um eine gleiche Strecke forttreibt; die andere ist eine stetig wirkende, beschleunigende Kraft, die den Ball im 2. Zeittheilchen um 3, im 3. um 5, im 4. um 7 ꝛc. solche Strecken abwärts zieht, als sie es im ersten Zeittheilchen thut. Der Ball gelangt also unter der gemeinsamen Wirkung beider Kräfte nach und nach zu den Punkten b, c, d, e, f, g (Fig. 25), nicht aber nach n oder m. Er durchfliegt eine krumme Linie, welche der Mathematiker eine Parabel nennt.

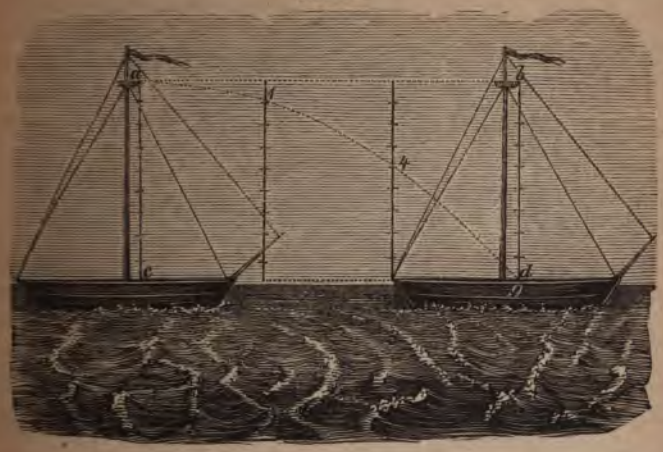
Fig. 25.



Die Parabel ist die Bahn jedes geworfenen Körpers, nicht blos des mit der Hand geworfenen Steines, sondern auch der aus Flinten und Kanonen geschossenen Kugel. Selbst die aus der besten Büchse geschossene Kugel fliegt nicht in gerader Linie, sondern in einem Bogen, und die Büchse muß daher auf ein entferntes Ziel etwas höher gerichtet werden, wenn die Kugel das Ziel treffen soll. In Folge des Widerstandes der Luft bleibt freilich die Bahn eines geworfenen Körpers nicht genau die mathematische Parabel, sondern wird eine andere krumme Linie, die man die ballistische Curve nennt, und die sich in ihrer letzten Hälfte bedeutend steiler wölbt, als in ihrer ersten.

Eine solche Wurflinie beschreibt aber auch ein Stein, wenn er senkrecht von dem Maste eines segelnden Schiffes fällt. Vermöge des Trägheitsgesetzes behält er in jedem Augenblicke seines Falles die fortschreitende Bewegung des Schiffes bei, während er gleichzeitig unter der Einwirkung der Schwere senkrecht herabfällt. Er schwebt also während des ganzen Falles senkrecht über demselben Punkte des Schiffes. Bewegt sich ein Schiff mit einer solchen Geschwindigkeit, daß sein Mastkorb von a bis b (Fig. 26) gelangt, ehe der Stein das Verdeck berührt, so wird der Stein, der gleichfalls von a bis b fortgetrieben wird, nach dem Gesetze des Falles nach 2 Zeittheilchen 4, nach 3 Zeittheilchen 9 ꝛc. solche Räume, wie im ersten Zeittheilchen, durchfallen haben, also durch die krumme Linie a d nach d senkrecht unter dem Punkte b des Mastkorbes angelangt sein. Ganz Aehnliches geschieht bei den Spring- und Ballspielkünsten der Kunstreiter auf schnell dahinlaufenden Pferden. Bei der Richtung ihrer Würfe haben sie die Bewegung des Pferdes gar nicht zu berücksichtigen. Was sie senk-

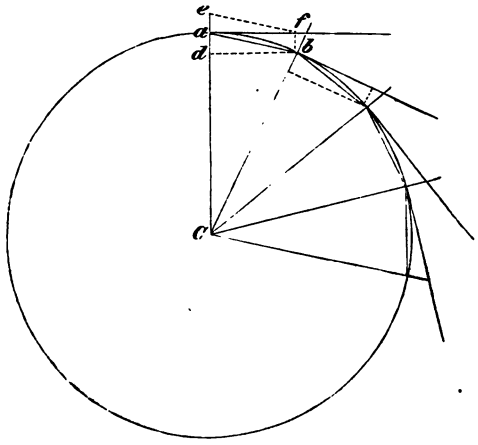
Fig. 26.



recht emporwerfen, fällt auch wieder senkrecht bei ihnen nieder, weil der geworfene Gegenstand schon in ihrer Hand dieselbe fortschreitende Bewegung hatte, wie das Pferd. Eine Kugel, die man auf einem schnellfahrenden Dampfwagen senkrecht emporschösse, würde genau auf denselben Punkt zurückfallen. Ein Stein, den man aus dem Wagen fallen läßt, fällt genau senkrecht unter dem Punkte des Wagens nieder, von welchem er herabfiel.

Wenn wir uns bei der Wurfbewegung die Schwerkraft als beständig in gleicher, sich parallel bleibender Richtung den vom Stoße fortgetriebenen Körper herabziehend vorstellten, so wird die Bewegungserscheinung eine ganz andere werden, wenn wir uns eine Zugkraft denken, die unverändert von einem Punkte aus wirkt und nach diesem Punkte von allen Richtungen her den bewegten Körper hinzuziehen strebt. Am einfachsten erhalten wir eine solche Zugkraft in Gestalt eines Fadens, den wir an dem einen Ende mit der Hand halten, während wir am andern einen Ball durch kräftigen Stoß in schnellen Umschwung versetzen. Der Stoß würde den Ball auch hier geradlinig in der Richtung a f (Fig. 27) forttreiben, wenn der Faden ihn nicht beständig in der Entfernung a c festhielte. Reißt der Faden, so sehen wir den Ball in der That nach dem Trägheitsgesetze sich mit der Geschwindigkeit und in der Richtung, die er im Augenblicke hat, weiter bewegen. So lange

Fig. 27.



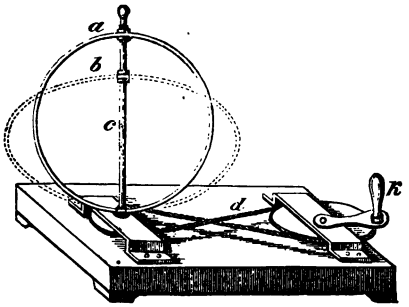
der Faden aber den Ball hält, zwingt er ihn, sich durch den Kreisbogen a b zu bewegen, den wir uns recht wohl als die Diagonale eines Kräfteparallelogramms vorstellen können, welches durch die beiden Kräfte a d und a f gebildet wird. Die eine Kraft a d, welche den Ball nach dem Mittelpunkte c zu ziehen strebt, bezeichnet man gewöhnlich als Ziehkraft oder Centripetalkraft, die andere a f, welche den Ball in der Richtung der Tangente fortzutreiben strebt, als Schwungkraft oder Tangentialkraft. Da in dieser Schwungkraft aber zugleich auch ein gewisses Bestreben ausgesprochen ist, den Ball um eine kleine Strecke a e von dem Mittelpunkte zu entfernen, so bezeichnet man wohl auch dies Bestreben für sich allein, als selbstständige, der Ziehkraft gleiche und entgegengesetzte Kraft, mit dem Namen der Fliehkraft oder Centrifugalkraft. Mit der Schnelligkeit des Umschwungs und mit der Entfernung vom Mittelpunkte desselben wächst auch diese Fliehkraft, und es erklärt sich daraus die kräftige Wirkung des geschleuderten Steines. Zwar pflegen wir auch bei dem Wurfe mit der Hand eine Schwungkraft wirken zu lassen; aber es ist keine so regelrechte Umschwungsbewegung, wie sie die biegsame Schleuder gestattet, die überdies den Abstand des geschwungenen Steines vermehrt. Bei übrigens gleicher Geschwindigkeit wächst die Fliehkraft mit der Größe der Krümmung. Eine Locomotive hat daher eine um so

stärkere Neigung, die Schienen zu verlassen, je stärker die Eisenbahn gekrümmt ist.

Auf dieser Umschwungsbewegung beruhen eine Menge interessanter Erscheinungen und zum Theil höchst wichtiger Anwendungen. Es ist die Fliehkraft, welche das Wasser im Glase festhält, wenn dieses in einen Tonnenreif gesetzt, und dieser mit großer Schnelligkeit umgeschwungen wird. Es ist dieselbe Schwungkraft, die den Kunstreiter auf dem Pferde stehend erhält, ganz schräg gegen das Innere der Reitbahn gerichtet, dieselbe Fliehkraft, durch die er, ohne jeden Stützpunkt, gleichsam an der innern Seite des schnell dahin laufenden Pferdes klebt, — eine Stellung, die er auf dem ruhenden Pferde nie würde behaupten können. Es ist aber auch die Fliehkraft, auf welcher die Centrifugalmaschine beruht, welche zum Trocknen von feuchten Stoffen aller Art, oder zum Auspressen des Saftes benutzt wird; denn die Fliehkraft treibt hier die Flüssigkeit mit großer Gewalt gegen den äußeren Umfang der umgeschwungenen Trommel, während die festen Körper zurückbleiben. Es ist ebenso die Fliehkraft, welche auf der Centrifugaleisenbahn die Wagen und die Menschen darin festhält, trotzdem sie bei dem Umschwunge nach oben auf den Kopf zu stehen kommen.

Ganz ähnlich, wie mit dem an einem Faden umgeschwungenen Balle, wird es sich aber auch mit einer um eine Axe rotirenden Kugel verhalten. Auch hier muß sich ein Bestreben der Theile, die Axe zu fliehen, geltend machen, freilich in verschiedenem Grade, da die Theile eine verschiedene Entfernung von der Axe, also auch eine verschiedene Geschwindigkeit der Bewegung haben. Ist die Masse der Kugel daher weich genug, daß ihre Theile nur einigermaßen diesen verschiedenen Bestrebungen nachgeben können, so muß der Umschwung der Kugel einen verändernden Einfluß auf ihre Gestalt ausüben. Ein auf eine senkrechte Axe c gesteckter und durch eine Schnur ohne Ende d schnell um diese gedrehter elastischer und völlig kreisrunder Ring a (Fig. 28) muß sich

Fig. 28.



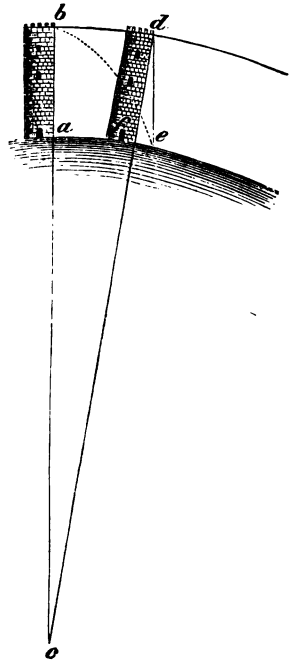
abplatten und eine elliptische Gestalt b annehmen, weil die Geschwindigkeit der Drehung und damit die Fliehkraft von den Enden oder Polen zur Mitte hin wächst. Eine weiche Thonkugel muß also in Folge solcher Umdrehung sich in einen an den Polen abgeplatteten Körper, ein sogenanntes Sphäroid oder Ellipsoid, verwandeln.

Auch unsere Erde ist eine rotirende Kugel, und auch sie war einst weich genug, um eine solche Gestaltveränderung oder Abplattung an den Polen zu erleiden. Messungen haben in der That diese Gestalt der Erde nachgewiesen, wie sie Newton zuerst aus der Theorie der Schwere herleitete. Jene Gradmessungen, die im vorigen Jahrhundert am Aequator und an den Polen, in Peru und Lappland, die zum Theil während der blutigsten Zeiten der französischen Revolution auf Befehl des berüchtigten Convents selbst in Frankreich ausgeführt wurden, die man in der Gegenwart in allen Gegenden der Erde, am Cap der guten Hoffnung und in Nordamerika, in England, in Indien, in Deutschland und Rußland fortgesetzt hat, sie sind die großartigsten Unternehmungen, in welchen sich der reine Wissensdrang des Menschen ohne die mindeste Aussicht auf Gewinn auf das Aufopferndste bethätigt hat. Ihr Zweck war, die verschiedene Krümmung der Erde in der Nähe des Aequators und der Pole zu messen, oder, mit andern Worten, die verschiedenen Halbmesser zu bestimmen, welche gleichen Bogenlängen an verschiedenen Theilen der Erde zukommen. Die Gradbogen, d. h. die Theile oder Grade des Meridians wurden astronomisch durch die Neigung der Schwerlinien gegen einander bestimmt; ihre Längen wurden aus genau gemessenen Grundlinien trigonometrisch berechnet. Das Resultat ergab ein Verhältniß der Polaxe zur Aequatoraxe = 299 : 300. Dies Verhältniß bezeichnet man als die Abplattung der Erde an den Polen.

Wie Naturgesetze überhaupt ihre kräftigste Bestätigung durch ihre scheinbaren Ausnahmen, durch die Abweichungen und Störungen finden, die sie im Zusammenwirken mit andern Gesetzen und Kräften erleiden, so ist auch die Abweichung der Erde von der Kugelgestalt, ihre Abplattung, der sicherste Beweis für ihre Axendrehung. Ebenso untrügliche Beweise liefert aber auch jede andere Abweichung, welche in einer der auf Erden vor sich gehenden Bewegungen unter dem Einflusse der Rotation oder Axendrehung nachgewiesen werden kann. Der Stein, der von einem Thurme fällt, gleicht jetzt genau dem vom Maste eines segelnden Schiffes fallenden Steine. Auch er nimmt Theil an der fortschreitenden Bewegung der Erdoberfläche, und folgt, von Schwung-

kraft und Schwerkraft zugleich getrieben, jener krummen paraboliſchen Bahn, die wir als das Ergebniß ſolcher zuſammenwirkender Kräfte kennen gelernt haben. Auch der Thurm iſt ja jetzt ein ſegelndes Fahrzeug. Nur in einem Punkte weicht ſeine Bewegung von der des Schiffes ab. Er ſegelt nicht, wie das Schiff, auf einer Ebene, ſondern durch einen Kreisbogen, da es ja der kreisförmige Umſchwung der Erde iſt, dem er folgt. Die Geſchwindigkeit des Umſchwungs wächſt aber mit der Entfernung von der Axe. Die Thurmſpitze alſo, die weiter von der Drehungsaxe der Erde entfernt iſt, als der Fuß des Thurmes, bewegt ſich auch ſchneller von Weſten nach Oſten, als dieſer. Der Stein, der vom Thurme fällt, gleicht alſo noch mehr dem Steine, den wir aus einem ſchnell fahrenden Wagen fallen laſſen, und der nicht auf denjenigen Punkt des Erdbodens gelangt, über welchem er losgelaſſen wurde, weil der Erdboden nicht an der Bewegung des Wagens theilnahm, vielmehr hinter ihm zurückblieb. Der Stein, welcher die ſchnellere Bewegung der Thurmſpitze durch ſeinen ganzen Fall beibehält, legt darum auch einen größeren Weg nach Oſten zurück, als der Fuß des Thurmes, er eilt ihm voran und fällt öſtlich vor ihm nieder. Während der Thurm (Fig. 29) von a b nach f d vorrückte, iſt der Stein mit der Schwungkraft b d = a e durch die krumme Linie b e gefallen und um das Stück f e vom Fuße des Thurmes nach Oſten abgewichen. Fallverſuche, die beſonders von Guglielmini im J. 1791 im Thurme degli Asinelli in Bologna bei einer Fallhöhe von 249 Fuß, von Benzenberg im J. 1802 auf dem Michaelisthurme in Hamburg bei 269 Fuß Fallhöhe, von Reich in einem Freiberger Schachte bei einer Fallhöhe von 505 Fuß angeſtellt wurden, haben dieſes Ergebniß der Theorie

Fig. 29.



auf das Glänzendste bestätigt. Bei dem letzten Versuche ergab sich eine östliche Abweichung von 13 Linien.

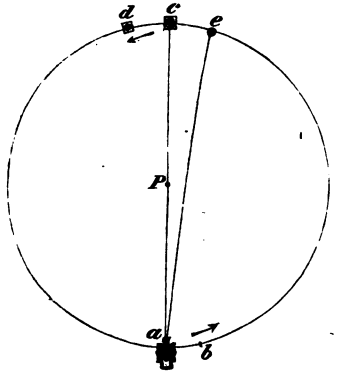
Die Erde ist aber nicht allein ein Schwungrad, dessen Umschwung den fallenden Stein vor sich her schleudert, sondern zugleich auch eine rotirende Kugel, auf welcher die Umschwungsgeschwindigkeiten vom Aequator zu den ruhenden Polen abnehmen. Jede Bewegung, welche auf ihrer Oberfläche von Pol zu Pol gerichtet ist, muß darum durch die Unterschiede dieser Geschwindigkeiten Ablenkungen erleiden. Es kann sogar, streng genommen, überhaupt keine Bewegung auf der Erde geben, welche nicht durch ihre Axendrehung beeinflußt würde. Eine der großartigsten Einwirkungen dieser Art zeigen uns die Luft- und Meeresströmungen, als deren erste Quelle wir später die Wärme kennen lernen werden. Ungleichheiten der Erwärmung nämlich stören das Gleichgewicht in Luft und Wasser und bewirken Strömungen in der Richtung von den Polen zum Aequator und umgekehrt. Befände sich die Erde in Ruhe, so würde diese Bewegung ungestört bleiben. Da aber die Erde rotirt, so hat jeder Punkt auf derselben zwischen Aequator und Polen eine andere Geschwindigkeit, und zwar eine um so größere, je weiter er von der Drehungsaxe entfernt ist, je näher er also dem Aequator, oder unter je geringerer Breite er liegt. Wenn nun ein vom Aequator ausgehender Strom, sei es der Luft oder des Wassers, gegen einen der Pole vorschreitet, so gelangt er beständig in Umgebungen, welche eine langsamere Bewegung nach Osten haben, als er selbst von seinem Ursprunge her mitbringt; er wird also diesen Umgebungen voran eilen und allmälig als Südweststrom auf der einen, als Nordweststrom auf der andern Erdhälfte empfunden werden. Umgekehrt wird jede von einem der Pole zum Aequator gerichtete Strömung in niedere Breiten mit größerer östlicher Geschwindigkeit gelangen und darum hinter ihnen zurückbleiben, also in Nordostströmungen auf der einen, in Südostströmungen auf der andern Erdhälfte übergehen.

Was in Ocean und Luftmeer im Großen geschieht, wiederholt sich in jeder, auch der kleinsten irdischen Bewegung. Wie kurz auch die Strecke sein mag, durch welche sich ein Körper in der Richtung von Nord nach Süd oder umgekehrt bewegt, immer bringt er vom Anfange seiner Bewegung her eine andere östliche Geschwindigkeit mit sich an das Ziel, als dieses selbst durch den Umschwung der Erde besitzt. Stets also wird das Ziel dem bewegten Körper voraneilen oder hinter ihm zurückbleiben. Keine Büchsen-, keine Kanonenkugel kann, streng ge-

nommen, ihr Ziel treffen, wäre sie auch aus dem besten Laufe abgeschossen, hätte auch das sicherste Auge den Lauf gerichtet.

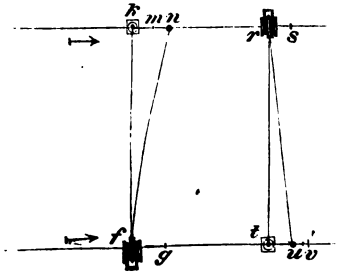
Versetzen wir uns für den Augenblick auf den Nordpol, und denken wir uns auf der einen Seite desselben in a eine Kanone aufgestellt, auf der andern in demselben Parallelkreise, also in gleicher Entfernung vom Pole, in c eine Scheibe. Die Kanone werde genau gegen diese Scheibe gerichtet und abgeschossen. Um zum Ziele zu gelangen, gebraucht die Kugel offenbar Zeit, und zwar, wenn die Entfernung 2000 Schritte beträgt, etwa $2^1/_4$ Secunden. In dieser Zeit aber sind Kanone und Ziel bereits mit der Bewegung der Erde nach Osten entwichen. Die Kanone ist nach b, die Scheibe nach d vorgerückt. Zugleich behält die Kugel die ihr in a mitgetheilte östliche Geschwindigkeit, und ihre Bewegung setzt sich aus dieser und der des Schusses zusammen, folgt also der Richtung ae. So schlägt die Kugel in e ein, während die Scheibe sich bereits in d befindet. Der Rechnung zu Folge beträgt diese Abweichung nach rechts etwa $15^1/_2$ Zoll.

Fig 30.



Eine ähnliche Ablenkung vom Ziele wird auch in unsern Breiten stattfinden. Denken wir uns unter dem 51. Breitengrade eine Kanone f (Fig. 31) genau auf eine nordwärts stehende Scheibe k gerichtet, so behält auch hier die Kugel während ihres Fluges die schnellere Bewegung des niederen Breitenkreises nach Osten bei und gelangt in der Richtung fn zu dem höheren Breitenkreise der Scheibe. Diese selbst hat zwar gleichfalls eine Bewegung nach Osten, aber eine langsamere, die sie während der Dauer des Schusses nur bis m fortgeführt hat. So schlägt auch hier die Kugel um die Entfernung mn, welche der Rechnung nach bei 2000 Schritt Schußweite etwa 6 Zoll beträgt, rechts vom Ziele ein. Wäre umgekehrt von r aus nach Süden geschossen worden, so hätte die Kugel die kleinere Geschwindigkeit auf ihren Weg mitgebracht und wäre nach u gekommen, während die Scheibe bis v vorgerückt wäre.

Fig. 31.



Auch dann also hätte sie rechts vom Ziele gefehlt.

Welche Richtung überhaupt auch dem Schusse gegeben werden mag, sobald die Kugel nur verschiedene Breitenkreise durchschneidet — und das wird sie, streng genommen, der geraden Richtung wegen, selbst genau nach Osten oder Westen geschossen — immer wird die Kugel nach rechts vom Ziele abweichen. Aber selbst der fallende Stein muß eine solche Ablenkung erleiden, da er nicht dem Mittelpunkte des Parallelkreises, sondern dem der Erde zufällt, also sich dem Aequator nähert. Der thatsächliche Beweis dürfte sich freilich kaum führen lassen, nicht etwa, weil die Ablenkungen zu unbedeutend wären, sondern weil die unberechenbaren Ablenkungen, welche die Kugel durch die ungleiche Wirkung des Pulvers, durch die Reibung im Laufe, durch den Widerstand der Luft erleidet, noch weit bedeutender sein dürften. Behauptet wird allerdings, daß erfahrungsgemäß die Fehlschüsse guter Schützen häufiger auf die rechte als auf die linke Seite der Scheibe fallen sollen. Im Grunde genommen, bleibt es für die Menschheit gleichgültig, ob Häuser oder Menschen von Bomben und Kugeln getroffen werden, weil oder obgleich sie darauf gezielt waren.

Mag immerhin der Gedanke, daß keine Bewegung auf Erden existirt, die nicht durch die Erdrotation gestört und abgelenkt würde, daß wir keinen Stein zu werfen, keine Hand zum Schlage zu erheben, keinen Fuß vorwärts zu setzen vermögen, ohne daß ihn im selben Augenblicke die Bewegung der Erde vom Ziele ablenkte, mag immerhin dieser Gedanke in seiner Allgemeinheit ziemlich unpraktisch und unfruchtbar erscheinen, so gewinnt er doch eine Bedeutung, wenn er auf Bewegungen angewandt wird, die nicht, wie unsere Kanonenkugeln, nur wenige tausend Fuß, sondern die selbst mehrere Breitengrade durchlaufen. So wird mit ziemlicher Sicherheit behauptet, daß unter diesem Einflusse der Erdbewegung unsere Eisenbahnzüge das Bestreben zeigen, vorzugsweise nach rechts aus den Schienen zu springen. Ganz unzweifelhaft ist, daß sich bei dem Golfstrome, der sich mit einer Geschwin-

digkeit von 70—80 Seemeilen in 24 Stunden bewegt, diese nach rechts drängende Wirkung der Erdrotation geltend macht. Die Tang- und Treibholzmassen, welche von diesem Strome an den Küsten Europa's und an den atlantischen Küsten Amerika's ausgeworfen werden, sprechen zu deutlich dafür. Neuerdings hat man aber darauf aufmerksam gemacht, daß sich auch in dem Laufe und der Uferbildung unserer Flüsse eine solche Einwirkung der Erdrotation bemerkbar mache, die auf der nördlichen Erdhälfte in einem Andrängen der Flüsse gegen ihr rechtes, auf der südlichen in einem Andrängen gegen das linke Ufer bestehe. Wenn auch natürliche Neigung des Terrains, Reibung, Widerstand fester Ufergesteine diese Wirkung vielfach verwischen müssen, so scheint doch in der That bei den Flüssen unserer Erdhälfte, welche durch ebenes Land und weiche, lockere Bodenschichten fließen, wie bei den Strömen Rußlands und der norddeutschen Ebene, vorzugsweise das rechte Ufer das höhere, steilere, angegriffenere, das linke das verflachte und überschwemmte zu sein, und ebenso scheinen die meisten Durchbrüche und Ablenkungen des Strombettes nach rechts hin einzutreten.

Wir haben bisher nur die Veränderungen berücksichtigt, welche die Richtung einer Bewegung erleidet, wenn sie durch den Umschwung der Erde beeinflußt wird. Aber es ist selbstverständlich, daß durch das Hinzutreten einer zweiten wirkenden Kraft auch die Größe der Bewegung verändert werden muß. Durch den Umschwung des an einem Faden befestigten Balles kann der Faden so angespannt werden, daß er endlich reißt. Es ist die mit der Geschwindigkeit wachsende Fliehkraft, welche hier der Zugkraft des Fadens entgegen wirkt, sie schwächt und zuletzt überwindet. Die Schwerkraft, welche die Körper auf der Erdoberfläche zum Falle treibt, ist nichts Anderes, als solch ein unsichtbarer Faden. Auch sie muß also die Einwirkung der Fliehkraft erfahren. Schon durch die verschiedenen Entfernungen der Oberflächenpunkte von dem Mittelpunkte der Erde erleidet die Schwerkraft Veränderungen in ihrer Stärke. Auf hohen Bergen fällt der Stein, weil er minder stark angezogen wird, langsamer, als in den Ebenen. Auf dem erhabenen Gürtel des Aequators fällt er langsamer, als an den abgeplatteten Polen. Noch bedeutender muß also die Fliehkraft der rotirenden Erde diesen Zug der Schwere schwächen und die Fallgeschwindigkeit der Körper verringern. Jeder Punkt des Aequators, der durch die Schwungkraft um 1482 Fuß in jeder Secunde nach Osten getrieben wird, erhält durch die Fliehkraft ein Bestreben, sich um 0,054 Fuß oder $7^3/_4$ Linien in der Secunde vom Erdboden zu entfernen; jeder Stein wird dort

also eine um $7^3/_4$ Linien kürzere Strecke in einer Secunde durchfallen, als er es auf der ruhenden Erde thun würde. Wenn daher der Beobachtung zufolge der Stein am Aequator jetzt in der ersten Secunde $15{,}_{378}$ Fuß durchfällt, so würde er auf der ruhenden Erde $15{,}_{632}$ Fuß durchfallen. Ruhend aber sind nur die Pole, und hier muß darum wirklich jene größere Fallgeschwindigkeit eintreten. Von dem Aequator zu den Polen nimmt aber die Schwungkraft, also auch die Fliehkraft ab, freilich nicht gleichmäßig mit der wachsenden geographischen Breite, weil die Fliehkraft nicht aus dem Mittelpunkte der Erde, wie die Schwerkraft, sondern aus den Mittelpunkten der rotirenden Parallelkreise und darum nicht mit ihrer vollen Stärke der Schwerkraft entgegen wirkt. Während daher die Fallgeschwindigkeit in der ersten Secunde am Aequator $15{,}_{578}$, am Pole $15{,}_{632}$ Fuß beträgt, ist sie unter 40^0 Breite $= 15{,}_6$, unter 60^0 Br. $= 15{,}_{618}$ Fuß. Der größte Unterschied in den Wirkungen der Schwerkraft beträgt freilich nur wenige Linien, nur den 289. Theil der ganzen Kraft. Aber wäre irgend ein Ereigniß in der Natur im Stande, die bisherige Umschwungsgeschwindigkeit der Erde um das 17fache zu beschleunigen, so daß unsere Tage nur $1^4/_{10}$ Stunden zählten, so würde die jetzt so unmerkliche Fliehkraft eine Bedeutung erlangen, daß sie die Schwerkraft der Erde gänzlich vernichtete, und der geworfene Stein nicht mehr fiele, sondern in der Luft schwebte, wie es die mohammedanische Sage von dem schwarzen Steine der Kaaba zu Mekka erzählt.

Auch diese Veränderung der Schwerkraft greift wieder, wie ein Rad im Getriebe, in ein ganzes Heer von Erscheinungen ein. Das Gewicht der Körper, die Wirkung der allgemeinen Anziehungskraft, zeigt dieselben Unterschiede auf der unebenen und rotirenden Erdoberfläche, wie der fallende Stein. Derselbe Stein wiegt leichter auf Bergen, als im Thale, leichter am Aequator, als an den Polen. Der in die Höhe geworfene Stein steigt unter niederen Breiten höher, als unter hohen, der niederfallende macht am Pole einen tieferen Eindruck in den Erdboden, als am Aequator. Ein durch hängende Gewichte gespannter Faden zerreißt in höheren Breiten leichter, eine horizontal schwebende Kette senkt sich in der Mitte tiefer, als in niederen Breiten. Auf schiefer Ebene muß die Kugel am Pole leichter durch ihren Druck die Reibung überwinden und abwärts rollen, als am Aequator. Das Alles sind freilich Erscheinungen, die nicht mehr in dem Bereiche unserer Meßinstrumente liegen. Selbst unsere feinste Wage vermag nicht, über das verschiedene Gewicht der Körper an Pol und Aequator zu entschei-

den, weil sie nur vergleichen kann, und die zu vergleichenden Körper unter den gleichen Einflüssen stehen.

Aber nicht blos auf der Erde besitzt das Gesetz der Schwere eine solche Allgemeinheit, daß nichts sich ihm entziehen, nichts sich vereinzeln kann, auch über die Erde hinaus behauptet sich seine Bedeutung. Es war ein fallender Apfel, sagt man, welcher Newton zur Erkenntniß der himmlischen Bewegungen leitete. Tausende freilich sahen vor ihm den Apfel vom Baume fallen, und sie kamen nicht über die Erscheinung hinaus. Newton folgte nicht blos dem Apfel zur Erde bis zu der Kraft, die ihn anzog, zur Schwerkraft im Schooße der Erde; er ließ auch den Baum in Gedanken hoch in den Himmelsraum wachsen, ließ ihn die Wolken mit seinem Gipfel berühren, und fand keinen Grund, der den Apfel hindern sollte, auch dann noch zu fallen, wie der Regentropfen und das Hagelkorn aus der Höhe fallen. Er ließ den Baum zum Monde wachsen, und er sah nicht ein, warum er nicht auch dann noch fallen, warum der Mond selbst nicht also fallen sollte. So ahnete er in der Bewegung des die Erde umkreisenden Mondes eine Wirkung derselben Kraft, die den Stein zur Erde zieht, in Verbindung mit einer anderen, die ihn durch den Weltraum schleuderte. Er zog die sicher prüfende Rechnung zu Hülfe, er beobachtete den Bogen, welchen der Mond am Himmel in einer Minute durchläuft, und verglich ihn mit dem Fallraume, den er in dieser Zeit hätte durchfallen müssen, allein der Anziehungskraft der Erde überlassen. Nach mancherlei Täuschungen, in welche ihn ein falsches Maß der Erde verstrickte, fand er endlich, daß in der That die Größe jenes Bogens genau diesem Fallraume entspricht, daß also wirklich die Anziehungskraft der Erde es ist, welche den Mond an die Erde fesselt und seinen Kreislauf regelt. Er übertrug, was er gefunden, auf die größeren Verhältnisse des Sonnensystems und sah nun Erde und Planeten und Kometen in ähnlichen Bahnen kreisen und durch eine ähnliche, der Sonne inwohnende Kraft gehalten und geleitet werden. Gewiß war es ein erhabener Moment, als Newton im Laufe seiner oft unterbrochenen mühsamen Rechnung endlich erkannte, wie die dunkeln Mächte, welche in den unendlichen Räumen die Weltkörper umführen, in nahe und bekannte, in die irdische Schwere, in den allereinfachsten Begriff der bloßen Masse, sich auflösen wollten, als er die letzte Schranke zwischen Himmel und Erde fallen und den Himmel sich weit über ihm aufthun sah. Die ganze erhabene Größe dieses Weltgesetzes trat in diesem Augenblicke vor die Seele seines Schöpfers, und er gerieth in eine so zitternde Bewegung

der Nerven, daß er, unfähig, weiter zu rechnen, einem eben eintretenden Freunde stürmisch die Feder in die Hand drückte und ihn bat, die Rechnung zu Ende zu führen. Newton hat mit der Entdeckung der allgemeinen Schwere oder der allgemeinen Gravitation der mechanischen Naturwissenschaft den Stempel der Vollendung aufgedrückt.

Was wir bisher Schwere nannten, das ist nun das allgemeine Kraftband, durch welches das große Weltall zusammengehalten wird. Es ist keine der Erde eigenthümliche Kraft, sondern die Folge einer allgemeinen Anziehung, welche zwischen allen Körpern stattfindet. Jeder Körper, sei er ein großer Weltball, eine Sonne, ein Planet, sei er ein Stein oder ein Stäubchen, übt auf jeden andern Körper eine anziehende Kraft aus, welche im geraden Verhältnisse zur Masse des anziehenden Körpers steht, aber abnimmt nach den Quadraten der Entfernung. Das ist das allgemeine Gesetz der Massen, welches durch die ganze Natur gilt, und der Fall der Körper ist nur seine vereinzelte Erscheinung.

Nur Folgerungen dieses großen Newton'schen Gravitationsgesetzes sind die berühmten, durch Kepler's Scharfsinn im Jahre 1610 entdeckten und nach ihm benannten Gesetze, daß sich 1) die Planeten in Ellipsen bewegen, in deren einem Brennpunkte die Sonne steht, daß sie 2) diese Bahnen nicht mit gleichförmiger Geschwindigkeit durchlaufen, sondern daß die Ausschnitte, welche die von den Planeten zur Sonne gezogenen Linien in gleichen Zeiten beschreiben, gleich sind, daß 3) die Quadrate der Umlaufszeiten sich verhalten, wie die Kubikzahlen der mittleren Entfernungen der Planeten von der Sonne, oder wie die Kubikzahlen der großen Axen der Planetenbahnen. Diese Gesetze bilden noch heute die Grundlage der ganzen Astronomie.

Das Pendel.

Der Fall eines Körpers auf einer schiefen Ebene erfolgt genau nach denselben Gesetzen, wie der freie Fall. Denn es ist nichts hier verändert, als die Größe der wirkenden Schwerkraft, deren einer Theil in einen Druck gegen den Boden verwandelt wird. Der wirksame Theil der Schwerkraft steht in demselben Verhältnisse zur ganzen Schwere, wie die Höhe der schiefen Ebene zu ihrer Länge. Diese Schwächung der Kraft kann also auch nur auf die Geschwindigkeit des Falles einen Einfluß üben; ein Körper wird den Weg auf einer schiefen Ebene in

einer so viel längeren Zeit durchfallen, als die Länge dieses Weges die Höhe der schiefen Ebene übertrifft. Im Uebrigen bleibt das Gesetz der Bewegung dasselbe. Der Körper fällt gleichsam nur auf einem Umwege durch die senkrechte Höhe der geneigten Ebene.

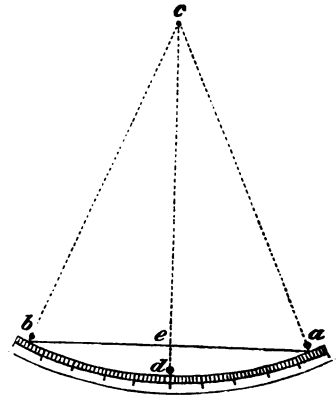
Durch den freien Fall erlangt nun bekanntlich ein Körper eine Endgeschwindigkeit, die ihn, ohne fernere Einwirkung der Schwerkraft, durch das Doppelte des bereits zurückgelegten Weges weiter treiben würde. Dieselbe Endgeschwindigkeit wird er nun auch beim Falle durch eine geneigte Ebene erlangen, und diese wird ihn in den Stand setzen, eine andere gleiche schiefe Ebene hinanzusteigen, da die jetzt verzögernd auf ihn einwirkende Schwerkraft sich mit der vorher beschleunigend wirkenden vollkommen ausgleicht, gerade wie die Endgeschwindigkeit eines herabfallenden Steines genau der Anfangsgeschwindigkeit des empor geworfenen gleich ist. Eine von einer schiefen Ebene herabrollende Kugel wird also genau zur gleichen Höhe eine andere schiefe Ebene hinaufrollen, und von da unter der neu beginnenden Wirkung der Schwere abermals abwärts und aufwärts und beständig hin und wieder rollen, wenn freilich nicht die Reibung dieser Bewegung ein Ziel setzte.

Eine Anwendung von dieser Wirkung des Falles auf schiefer Ebene sehen wir spielende Kinder machen, wenn sie ihren Schlitten von einer geneigten Schneefläche herabgleiten und eine zweite Anhöhe wieder ein gut Stück hinaufschießen lassen. In ähnlicher Weise führen die Holzfäller in Gebirgen ihre schwer belasteten Schlitten in die Ebene hinab, nicht aufgehalten von mäßigen Schwellungen des Bodens. Aber immer vernichtet die Reibung einen bedeutenden Theil des gewonnenen Ueberschusses an Geschwindigkeit.

Eine Bewegung, bei welcher die Reibung nicht merklich hindernd wirkt, und die erlangte Endgeschwindigkeit des Falles ungeschwächt bleibt, erhalten wir nur, wenn wir einen schweren Körper an einem Faden aufhängen und, nachdem wir ihn aus seiner Gleichgewichtslage gebracht haben, der Einwirkung der Schwerkraft überlassen. Der Körper fällt, und die Bahn, die ihm durch den Faden vorgeschrieben ist, ist zwar eine krumme, aber doch immerhin der geneigten Ebene in ihren Wirkungen gleichkommende. Der Körper fällt, weil er das Bestreben hat, diejenige Lage einzunehmen, in welcher sein Schwerpunkt sich senkrecht unter dem Aufhängepunkte befindet. Er gelangt aus der Lage c a (Fig. 32) in die Lage c d. Hier aber hat er in Folge seiner Fallbewegung eine Endgeschwindigkeit erlangt, die ihn über d hinaus bis zu der a

gleichen Höhe b in die Lage c b weiter treibt, und nun beginnt er von Neuem zu fallen, und schwingt so hin und her, bis die Hindernisse der Bewegung, Steifheit des Fadens und Widerstand der Luft, ihn endlich zur Ruhe bringen. Ein solcher, in einem Punkte aufgehängter und um diesen frei beweglicher Körper aber ist das Pendel.

Fig. 32.



Hätten wir unser Pendel nicht bis zur ganzen Höhe a, sondern etwa nur halb so hoch gehoben, so würde auch die beschleunigende Kraft seines Falles nur halb so groß sein. Es würde also den halben Weg auch nur mit der halben Geschwindigkeit, das heißt aber so viel, als in derselben Zeit wie den ganzen Weg, zurückgelegt haben. Mit anderen Worten: die Schwingungen werden auch bei verschiedenen Schwingungsweiten gleiche Dauer haben. Diese gleiche Dauer kleiner Schwingungen war es, welche Galilei einst als Knabe im Dome zu Pisa an den Schwingungen einer vom Gewölbe herabhängenden Lampe beobachtete, und diese Beobachtung war es, welche den großen Geist des Knaben weckte und in ihm zur Quelle wichtiger Entdeckungen wurde. Allerdings ist die gleiche Dauer der Schwingungen, streng genommen, nicht ganz richtig, da die beschleunigende Kraft des Falles nicht eigentlich im Verhältniß der Schwingungsbogen, sondern ihrer Sehnen ab- und zunimmt. Aber diese Abweichung ist bei kleinen Bogen eine so äußerst geringe, daß sie hier nicht in Betracht kommen kann. Wir können daher ohne Weiteres annehmen: kleine Schwingungen des Pendels erfolgen sämmtlich in gleichen Zeiten.

Gewicht, Masse, Stoff des Pendels können natürlich keinen Einfluß auf seine Bewegung ausüben. Die bewegende Kraft ist ja die Schwere, und diese als die Gesammtkraft der Erde wirkt auf alle ihre kleinen Theile, mögen sie dichter oder minder dicht sein, völlig gleich. Alle Körper fallen gleich schnell. Das kann uns eben so gut, als ein Fallversuch im luftleeren Raume die längere Beobachtung verschiedener Pendel von Holz, Wachs und Metall lehren.

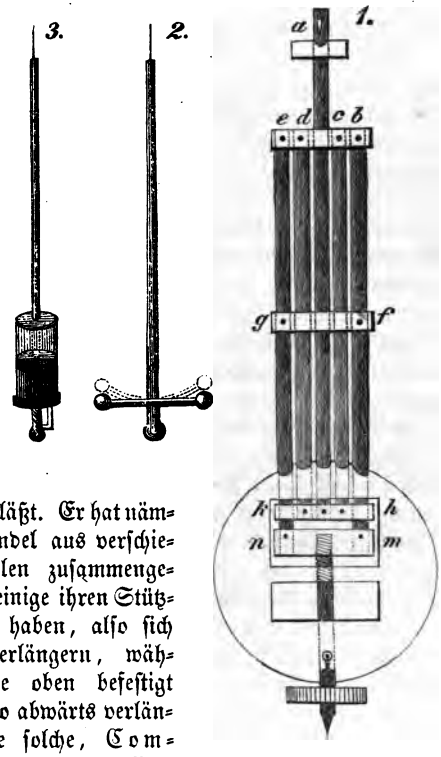
Nicht ohne Einfluß auf die Dauer der Pendelschwingungen wird aber die Länge des Pendels, d. h. der Abstand des Schwerpunktes vom Aufhängepunkte, sein. Je länger ein Pendel ist, desto größer werden auch bei gleichem Ausschlagswinkel die Schwingungsbogen, also die zu durchfallenden Räume. Bedenken wir überdies, daß die Kraft der Schwere stetig beschleunigend wirkt, daß die Räume, welche ein Körper in verschiedenen Zeiten durchfällt, sich nicht wie die Zeiten selbst, sondern wie ihre Quadrate verhalten; so müssen auch die Schwingungsbogen verschieden langer Pendel und damit diese Pendellängen selbst in dem Verhältnisse wie die Quadrate der Schwingungszeiten zu einander stehen. Kehren wir diesen Satz um, so gelangen wir zu dem Gesetze der Physik, daß sich die Schwingungszeiten verschiedener Pendel verhalten, wie die Quadratwurzeln ihrer Längen. Während also ein Pendel von 4 Fuß Länge eine Schwinguug macht, wird ein Pendel von 1 Fuß Länge deren zwei vollenden.

Dies Gesetz hat seine volle Gültigkeit freilich nur unter der Voraussetzung, daß der Faden, an welchem das Pendel aufgehängt ist, schwerlos sei, also für ein mathematisches Pendel. Für gewöhnlich aber ist dieser schwerlose Faden durch eine hölzerne oder metallene Stange ersetzt. Ein solches körperliches oder physisches Pendel besteht nun gleichsam aus einer unzähligen Menge mathematischer Pendel von ungleicher Länge. Denn jedes Theilchen dieser Stange ist schwer, hat also das Bestreben, um so schneller zu schwingen, je näher es sich dem Aufhängepunkte befindet. Freilich sind alle diese Theilchen fest mit einander verbunden und dadurch gezwungen, gleichzeitig zu schwingen. Dabei werden offenbar die dem Aufhängepunkte näheren Punkte in ihrer Bewegung durch die entfernteren verzögert, die entfernteren umgekehrt durch die näheren beschleunigt. Zwischen ihnen muß es indeß irgend einen Punkt geben, der weder beschleunigt noch verzögert wird, und der daher genau so schwingt, als wenn er der einzige schwere Punkt des Pendels wäre. Dieser Punkt, den man den Schwingungspunkt nennt, verhält sich genau so, wie der schwere Punkt eines mathematischen Pendels, und sein Abstand von dem Aufhängepunkte oder die Länge des physischen Pendels kann durch Rechnung bestimmt werden. So ist man in der That im Stande, auch physische Pendel zu verfertigen, deren Schwingungen an eine ganz bestimmte Zeitdauer, etwa von einer Secunde, gebunden sind, und die sich daher auch zur Zeitmessung eignen.

Ein Bedenken bleibt indeß noch immer gegen den Gebrauch des

Pendels zur Zeitmessung übrig. Das körperliche Pendel ist allen den Veränderungen unterworfen, denen die Körperwelt überhaupt ausgesetzt ist, und als eine der wichtigsten unter diesen werden wir die Ausdehnung durch die Wärme kennen lernen. Wird aber ein Pendel unter den Einflüssen der Temperatur bald verlängert, bald verkürzt, so wird es natürlich auch bald langsamer, bald schneller schwingen müssen. Seine Länge ist dann eben keine beständige. Dem Physiker ist es indeß gelungen, auch diese Störung zu beseitigen, indem er durch sinnreiche Einrichtungen Verlängerungen und Verkürzungen sich gegenseitig

Fig. 33.



ausgleichen läßt. Er hat nämlich das Pendel aus verschiedenen Theilen zusammengesetzt, deren einige ihren Stützpunkt unten haben, also sich aufwärts verlängern, während andere oben befestigt sind, sich also abwärts verlängern. Eine solche, Compensation genannte Ein-

richtung bietet das Roſtpendel (1) dar, deſſen ſtählerne Pendelſtange a frei durch die Querſtücke b e und f g hindurchgeht und am Querſtücke h k befeſtigt iſt. Zu beiden Seiten dieſer Stahlſtange ſind zwei Zinkſtangen c und d oben und unten in den Querſtücken b e und h k befeſtigt, während zwei andere Stahlſtangen, in b, e, f und g vernietet, unten das Querſtück m n tragen, an welchem vermittelſt einer Schraube die Linſe befeſtigt iſt. Wird nun die mittlere Stahlſtange durch die Wärme verlängert, ſo ſchiebt ſie zwar das Querſtück h k herab; aber gleichzeitig dehnen ſich die Zinkſtangen faſt 3mal ſo ſtark nach oben aus und heben nun das Querſtück b e und damit auch die beiden äußeren Stahlſtäbe b m und e n, die ſich, ebenſo wie der mittlere, nur nach unten verlängern können. Iſt das Verhältniß in den Längen dieſer Stäbe richtig getroffen, ſo müſſen ihre Hebungen und Senkungen einander in ihren Wirkungen vernichten. Derſelbe Zweck der Compenſation wird in anderer Weiſe dadurch erreicht, daß man am unteren Ende der Pendelſtange zwei auf einander genietete Stäbchen von Meſſing und Eiſen anbringt (2), deren verſchiedene Ausdehnung eine Krümmung nach oben und dadurch eine Hebung der kleinen Gewichte an ihren Enden bewirkt, ſo daß der Schwingungspunkt, der ſich durch die Ausdehnung der Pendelſtange ſenken würde, wieder aufwärts gerückt wird. Endlich hat man auch am untern Ende einer Pendelſtange ein Gefäß mit Queckſilber angebracht (3), durch deſſen Ausdehnung nach oben die der Stange nach unten aufgehoben wird.

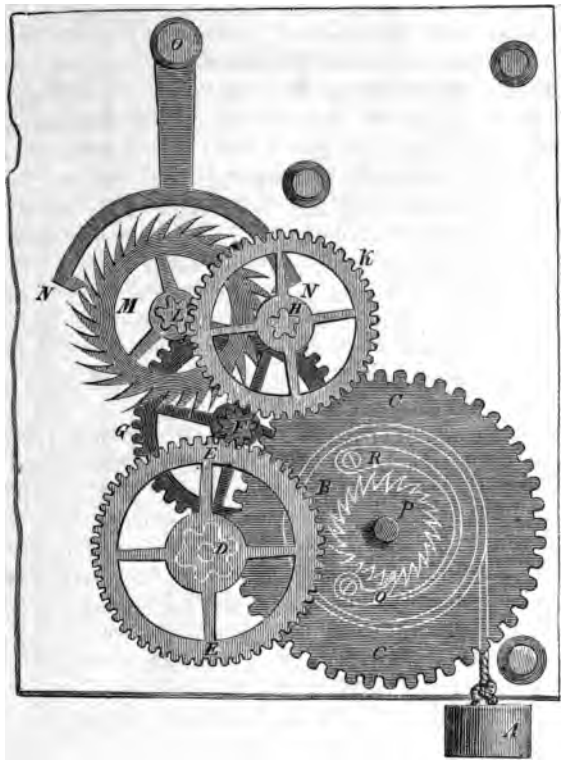
Wenn ſomit kein Zweifel mehr beſtehen kann, daß ſich Pendel mit gleich bleibender Länge und gleich bleibenden Schwingungen herſtellen laſſen, ſo liegt der Gedanke nahe, ein ſolches ſchwingendes Pendel zur Zeitmeſſung zu benutzen. In der That hat ſchon Galilei die gleiche Dauer kleiner Pendelſchwingungen benutzt, um kurze Zeiträume durch die Zahl der Schwingungen zu meſſen. Aber erſt Huyghens vollendete im Jahre 1656 dieſe wichtige Anwendung des Pendels durch die Erfindung der Pendeluhr. Wie jede Bewegung auf Erden ihre Widerſtände und Hinderniſſe und damit ihr Ende findet, wie der Schlitten des Knaben am Ende ſeiner Rutſchbahn ſtehen bleibt und mühſam wieder bergan gezogen werden muß, ſo kommt auch das Pendel, aufgehalten von der durchſchnittenen Luft, allmälig zur Ruhe. Huyghens verband darum das ſchwingende Pendel mit einem Räderwerke, welches durch eine Triebkraft in Bewegung geſetzt wird und zugleich wieder einen Zeiger umtreibt, der die Anzahl der Pendelſchwingungen anzeigt. Die Triebkraft, welche die Uhr in Bewegung ſetzt

und bewirkt, daß die Schwingungen des Pendels nicht nachlassen oder aufhören können, ist der Fall eines Gewichtes, während dieses Pendel wieder vermöge der gleichen Dauer seiner Schwingungen das in der Fallbewegung liegende Streben nach Beschleunigung aufhebt.

Wenn man das Gehäuse einer Pendeluhr öffnet, so erblickt man zunächst die treibende Kraft des Räderwerkes in dem großen Gewichte A, welches an dem Ende einer um die Walze B gewickelten Schnur befestigt ist und durch sein Fallbestreben diese Walze umdreht, dadurch aber auch zugleich das mit der Walze verbundene Stirnrad C und das gesammte Räderwerk in Bewegung setzt. Wenn die Schnur abgelaufen ist, hört natürlich auch die Triebkraft auf; um sie wieder herzustellen, zieht man deshalb die Uhr wieder auf, d. h. dreht durch einen Schlüssel die Walze rückwärts und wickelt dadurch die Schnur wieder auf. Damit aber nicht das ganze Räderwerk an dieser Rückwärtsbewegung theilnehme, und dadurch der Gang der ganzen Uhr gestört werde, sind die Walze B und das Hauptrad C, obgleich auf gemeinschaftlicher Axe, doch für diese Richtung der Bewegung von einander ganz unabhängig gemacht, für die entgegengesetzte Richtung aber durch das an der Walze befestigte Sperrrad P und durch den Zahn O des Rades, welcher durch eine Feder R stets zwischen die Zähne des Sperrrades gedrückt wird, mit einander verbunden. Die Zähne des durch das fallende Gewicht beständig umgetriebenen Stirnrades C greifen nun in die Stäbe des Getriebes D ein und bewegen dadurch das auf derselben Axe befestigte Rad E. Die Zähne das Rades E greifen ferner in die Stäbe des Getriebes F ein und setzen dadurch das Rad G in Umlauf, dessen Zähne wieder in die Stäbe von H eingreifen und das damit verbundene Rad K bewegen. Durch das letztere endlich wird das Getriebe L und sein spitzzähniges Rad M umgedreht, das letzte Glied des Räderwerkes, das zugleich die schnellste Bewegung hat.

Da die Bewegung dieses Rades von dem fallenden Gewichte ausgeht, so muß sie auch den Charakter der Fallbewegung haben, eine ungleichmäßige, sich beschleunigende sein. Gleichwohl kennen wir kaum eine gleichförmigere und regelmäßigere Bewegung, als die des Räderwerkes einer Uhr und des damit zusammenhängenden Zeigers. Dieser gleichmäßige Gang des Uhrwerkes wird durch das Pendel bewirkt, welches die Gleichmäßigkeit seiner Schwingungen auf die Bewegung der Räder überträgt. Damit es dies aber vermöge, ist es mit einem Anker N verbunden, welcher alle Schwingungen des Pendels mitmacht, bei

Fig. 34.
Das Innere einer Pendeluhr, von vorn gesehen.



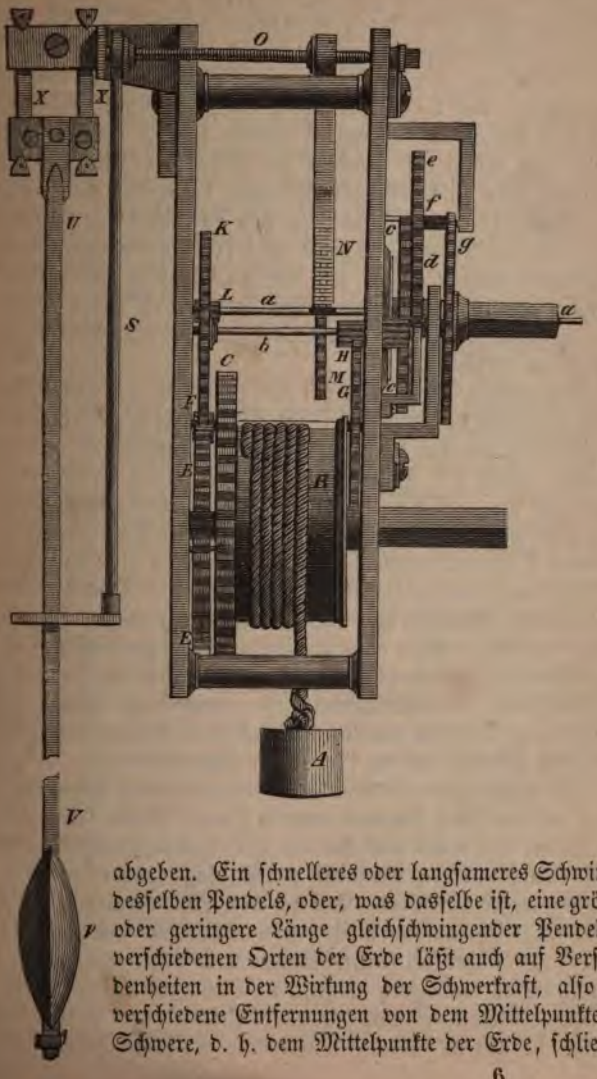
jeder aber zugleich in die scharfen Zähne des Rades M hemmend eingreift. Die Zähne des Steigrades M sind nämlich so eingerichtet, daß sie immer bei der einen Schwingung des Pendels gegen die untere Fläche des einen, bei der anderen Schwingung gegen die obere Fläche des anderen Armes der sogenannten Hemmung N zu stehen kommen, so daß die Drehung des Rades jedesmal für einen Augenblick gehemmt wird. Das Rad kann daher seinen Umlauf nicht vollenden, ohne daß jeder Zahn desselben mit jedem Arme des Ankers in Berüh-

rung gewesen ist, also nur genau nach doppelt so vielen Schwingungen des Pendels, als das Rad Zähne hat. Dadurch aber ist nicht blos die dauernde Bewegung des Pendels und die gleichmäßige des Räderwerkes gesichert, sondern zugleich die Zeit des Umlaufs für das letzte Rad wie für das ganze Räderwerk auf das Genaueste bestimmt. Denn Dauer der Pendelschwingungen oder Länge des Pendels und Zahl der Zähne bedingen einander nun wechselseitig. Ist die Dauer des Pendelschlags genau eine Secunde, so muß man dem Steigrade 30 Zähne geben, damit es in 60 Pendelschlägen seinen Umlauf vollende. Seine durch das Zifferblatt hindurch verlängerte Axe a (Fig. 35) trägt dann auch den Secundenzeiger. Dieselbe Axe trägt gewöhnlich zugleich auf einem hohlen Cylinder den Minutenzeiger, der seine Bewegung durch das Getriebe H erhält, welches in die Zähne eines auf dem Cylinder befestigten kleinen Rades c eingreift. Auf einem zweiten hohlen Cylinder ist der Stundenzeiger befestigt, welcher seine Bewegung durch das Rad g erhält, in dessen Zähne das Getriebe F des großen Rades G eingreift, das von einem anderen, am ersten Cylinder befestigten Rade d umgetrieben wird.

So ist durch die einfache Verbindung zweier einander antreibenden und hemmenden Fallbewegungen ein bewunderungswürdiges Kunstwerk geschaffen worden. Vor wenigen Jahrhunderten noch war eine Uhr nur das Geschenk reicher Fürsten; seit Huyghens' sinnreicher Erfindung sieht man die Pendeluhr in der ärmsten Hütte. Eine noch weitere Verbreitung vielleicht haben die Taschenuhren gefunden, die demselben scharfsinnigen Erfinder wenigstens ihre Vervollkommnung verdanken. In ihnen ist das fallende Gewicht durch eine starke elastische Feder ersetzt, welche aufgewunden durch ihre Spannung als bewegende Kraft wirkt. Statt des Pendels und der Hemmung aber dient zur Regulirung der Bewegung hier die sogenannte Unruhe, ein kleines Schwungrädchen, das an seiner Axe eine sehr feine elastische Feder trägt, die mit ihrem anderen Ende an dem Gehäuse selbst befestigt ist und beim Hin- und Herschwingen des Rädchens sich abwechselnd zusammenzieht und ausdehnt. Bei der Taschenuhr ist also vollkommen die Elasticität an die Stelle der Schwerkraft getreten. Eine so bewunderungswürdige Gleichmäßigkeit des Ganges, wie bei Pendeluhren, ist freilich bei Taschenuhren noch nicht erreicht worden.

Die Schwerkraft also ist die bewegende Kraft des Pendels; sein Schwingen ist nur ein stets unterbrochenes Fallen. Dann aber müssen diese Schwingungen auch ein Maß für die Größe der Schwerkraft

Fig. 35. Das Innere der Uhr, von der Seite gesehen.



abgeben. Ein schnelleres oder langsameres Schwingen desselben Pendels, oder, was dasselbe ist, eine größere oder geringere Länge gleichschwingender Pendel an verschiedenen Orten der Erde läßt auch auf Verschiedenheiten in der Wirkung der Schwerkraft, also auf verschiedene Entfernungen von dem Mittelpunkte der Schwere, d. h. dem Mittelpunkte der Erde, schließen.

Denn die treibenden Schwerkräfte werden bei gleicher Schwingungsdauer offenbar durch die Schwingungsbogen, diese aber bei gleichem Ausschlagswinkel durch die Pendellängen gemessen. Mit der Entfernung vom Mittelpunkte der Erde nimmt also nicht blos die Wirkung der Schwere ab, sondern auch die Geschwindigkeit der Pendelschwingungen, und die Pendel müssen verkürzt werden, wenn sie noch wie bisher Secundenschwingungen machen sollen. Man ist also im Stande, mit Hülfe des Pendels die Höhe von Bergen zu messen. Schon der französische Gelehrte Bouguer beobachtete bei Gelegenheit der berühmten Gradmessung in Peru, daß ein Pendel von 439,1 Pariser Linien, das an der Meeresfläche 98,770 Schwingungen innerhalb 24 Stunden gemacht hatte, auf dem 14,400 Fuß hohen Gipfel des Pichincha nur 98,720 Schwingungen machte und daher für die der Ebene entsprechende Zahl von Schwingungen eine Verkürzung um 0,45 Linien verlangte.

Eine wichtige Bedeutung hat das Pendel erlangt als Mittel, die Gestalt der Erde zu bestimmen. Die Abplattung der Erde ist offenbar eine Wirkung der am Aequator durch die Axendrehung geschwächten Schwere. Aus der Zunahme der Schwere vom Aequator zu den Polen läßt sich also die Gestalt der Erde herleiten. Aber man ist weder durch die Wage im Stande, die Wirkungen der Schwere an verschiedenen Orten zu vergleichen, noch lassen sich diese Unterschiede in der Erscheinung des freien Falles beobachten. Das Pendel macht durch die beständige Wiederholung der Fallbewegung diese feinen Unterschiede bemerkbar. Man hat nur die Schwingungen desselben Pendels in derselben Zeit an verschiedenen Orten der Erde zu beobachten oder die Länge des Secundenpendels für verschiedene Punkte zwischen Aequator und Polen zu ermitteln, so kann man daraus die verschiedene Größe der Schwere und die Gestalt der Erde berechnen.

Schon im Jahre 1672 bemerkte der französische Astronom Richer, als er auf der Insel Cayenne unter 5 ° nördl. Breite seine von Paris mitgebrachte und genau nach Pariser Zeit regulirte Pendeluhr aufstellte, daß sie täglich um $2^1/_2$ Minuten zu spät ging, und er mußte der Berichtigung wegen das Pendel fast um $1^1/_4$ Linie verkürzen. Daß eine Störung der Uhr auf der Reise daran nicht schuld war, ging daraus hervor, daß Richer bei seiner Rückkehr nach Paris sein Pendel wieder um $1^1/_4$ Linien verlängern mußte, da die Uhr jetzt täglich $2^1/_2$ Minuten vorging. Newton erkannte die wahre Ursache dieser Erscheinung und empfahl sie bereits zu Messungen der irdischen Schwere. Diese

Messungen sind aber erst in neuerer Zeit ausgeführt worden, namentlich auf Veranlassung der englischen Regierung. Sabine und Foster haben ihr Pendel auf Spitzbergen wie auf den westindischen Inseln, in Südafrika und Südamerika schwingen lassen. Das Ergebniß war, daß das Pendel am Pole täglich ungefähr 240 Schwingungen mehr macht, als am Aequator, daß auf Spitzbergen (unter 70° 50′) das Secundenpendel eine Länge von 3 Fuß 2 Zoll 1 Linie, auf St. Thomas (unter 0° 24′ 41″) nur eine Länge von 3 Fuß 1 Zoll $10^3/_4$ Linien verlangt. Der Schluß auf die Schwerkräfte, auf die Gestalt und Abplattung der Erde war einfach. Es ergab sich ein Verhältniß der Polaxe zur Aequatoraxe = 179 : 180. Die bedeutende Abweichung dieses Ergebnisses von dem durch unmittelbare Messung erlangten, welches das Verhältniß der Erdaxen = 299 : 300 feststellte, erklärt sich daraus, daß man sich auf eine durchgängig gleiche Dichtigkeit des Erdinnern gestützt hatte. Ist aber diese Dichtigkeit eine gegen den Mittelpunkt hin zunehmende, so muß das Verhältniß der Erdaxen bedeutend kleiner sein, als das der Schwerkräfte, weil letzteres nicht blos durch den Unterschied der Entfernungen vom Mittelpunkte, wie ersteres, sondern auch durch den der Massen bedingt wird. Die Berücksichtigung einer solchen zunehmenden Dichtigkeit der Erde bei Berechnung des Axenverhältnisses aus den Pendelbeobachtungen stellte in der That die vollkommene Uebereinstimmung mit dem Ergebnisse der Gradmessungen her.

Eine neue außerordentliche Bedeutung hat das Pendel als Mittel erlangt, die Erde zu wägen. Wenn man auch die Größe der Erde durch Messungen bestimmt hatte, so kannte man doch ihr Gewicht noch nicht, so lange man nichts von ihrem Inhalte, ihrer Masse wußte. Diese Masse kann aber erkannt werden aus ihrer Wirkung, der Anziehung. Nun ist diese Anziehung keine der Erde als Ganzem eigenthümliche Kraft, sondern findet zwischen allen Körpern statt. Ist man also im Stande, die Anziehung irgend eines seiner Masse nach bekannten Körpers zu ermitteln, so wird man aus dem Verhältniß dieser Anziehung zur Gesammtanziehung der Erde auch auf das Verhältniß der bekannten Masse zur Gesammtmasse der Erde schließen können. Diese Ermittelung ist in neuerer Zeit gelungen, und sie bildet eine der glänzendsten Thaten der neueren Wissenschaft.

Am leichtesten mußte es gelingen, die Wirkung einer Anziehung bei einer großen Bergmasse wahrzunehmen, und am einfachsten mußte

sich diese Wirkung in einer Ablenkung des Bleilothes aus der senkrechten Richtung zeigen. In der That hatte schon Bouguer um die Mitte des vorigen Jahrhunderts beobachtet, daß die gewaltige Bergmasse des Chimborazo sein Bleiloth um 7—8 Secunden ablenkte. Der entscheidende Versuch aber, durch welchen man zum ersten Male es unternahm, die Erde zu wägen, fand im Jahre 1774 in den Bergen des schottischen Hochlandes an den Ufern des Loch-Tay statt. Hierher begaben sich zwei der berühmtesten Naturforscher Englands, der Astronom Maskelyne und der Geolog Hutton, um die Ablenkung des Bleilothes durch den Berg Shehallian an seiner Nord- und Südseite zu beobachten. Aus dem Unterschiede der Winkel, welchen die an beiden Stationen auf denselben Stern am Himmel gerichteten Fernröhre mit den aufgehängten Bleilothen machten, bestimmten sie die wirkliche Neigung der Bleilothe auf beiden Seiten des Berges gegen einander. Sie betrug 53 Secunden. Aus der genau gemessenen Entfernung der beiden Stationen aber und ihrem Verhältniß zu dem bekannten Umfange der Erde berechneten sie die Neigung, welche die Bleilothe gegen einander hätten haben müssen, wenn der Berg zwischen ihnen nicht vorhanden gewesen wäre. Sie ergab sich zu 41 Secunden. Die durch den Berg bewirkte Ablenkung betrug also 12 Secunden. Der Berg wurde nun gemessen und sein Rauminhalt annähernd bestimmt. Nahm man aber jetzt die Dichtigkeit der Bergmasse der durchschnittlichen Dichtigkeit der gesammten Erde gleich, und berechnete dann aus dem Verhältniß dieser Masse zur Gesammtmasse der Erde die Anziehung, so erhielt man eine Anziehung, welche die wirklich beobachtete fast um das Doppelte übertraf. Die Dichtigkeit des Berges konnte also nur etwa halb so groß sein, als die der Erde, und da sie, nach seinen Gesteinsmassen zu schließen, ungefähr $2^3/_4$ mal die Dichtigkeit des Wassers übertraf, so ergab sich für die Dichtigkeit der Erde eine fast 5mal die des Wassers übertreffende.

Ebenso gut aber, wie das Bleiloth durch die Anziehung eines Berges abgelenkt wird, muß auch ein schwingendes Pendel durch diese Anziehung gestört werden. Seine Schwingungen müssen beschleunigt werden. Beobachtungen, die auf dem Gipfel des Mont Cenis angestellt wurden, haben diese Voraussetzung bestätigt. Sie ergaben, daß das Secundenpendel auf der Höhe des Berges fast um $^1/_2$ Linie länger war, als es ohne den Berg hätte sein müssen. Die Dichtigkeit der Erde, welche sich aus dem Verhältniß der Anziehung dieses, seiner Masse nach annähernd bekannten Berges zu der Anziehung der Erde

ergab, betrug $4^2/_5$ im Verhältniß zur Dichtigkeit des Waſſers, alſo nahe übereinſtimmend mit dem vorigen Ergebniſſe.

Gegen dieſe Wägung der Erde durch Bleiloth oder Pendelſchwingungen ließ ſich aber noch immer ein ernſtes Bedenken erheben. Es konnten Ungleichheiten in der Dichtigkeit der Erde unter dem Beobachtungsorte vorhanden ſein, große Höhlungen oder ausnahmsweiſe dichtere Geſteinsmaſſen, und dieſe mußten Einflüſſe auf Bleiloth und Pendel ausüben. Eine völlig ſichere Wägung konnte man nur erhalten, wenn es möglich war, die Anziehung einer Maſſe zu beobachten, die nicht unter dem Einfluſſe der allgemeinen Erdanziehung ſtand. Dieſe anſcheinend unmögliche Aufgabe hat der engliſche Phyſiker Cavendiſh im Jahre 1797 mit Hülfe eines Inſtrumentes gelöſt, das ihn in den Stand ſetzte, die gewaltige Erde im engen Stübchen zu wägen.

Wenn ein hängendes Pendel ſtets der Einwirkung der Schwere unterworfen bleibt, ſo iſt ein liegendes, wie es ein leicht beweglicher zweiarmiger, auf einem Punkte ſchwebender Hebel darſtellt, davon frei. Nähert man dem Ende eines ſolchen Hebels eine große ſchwere Kugel, ſo wird ihre Anziehung ihn zu drehen ſuchen, ohne daß die Schwere daran hindert. Der Hebel wird alſo in horizontale Schwingungen gerathen, deren Stärke ſich verdoppeln muß, wenn beiden Enden des Hebels ſolche anziehende Kugeln genähert werden.

Darauf beruht die Einrichtung der von Cavendiſh erfundenen Drehwage (Fig. 36, 1 und 2), die durch Francis Bailey ſpäter vereinfacht und verbeſſert wurde (3). Die beiden großen Kugeln k hatten ein Gewicht von 300 Pfund und waren an Eiſenſtangen aufgehängt, die durch ein Tau um eine feſte Axe gedreht werden konnten. Der Hebel trug an ſeinen Enden zwei kleine Bleikugeln s und war an einem Silberfaden aufgehängt. Der ganze Apparat ſtand, von einem Glaskaſten umſchloſſen, in einem thür- und fenſterloſen, von außen erleuchteten Zimmer, ſo daß jede Erſchütterung, jede ſtörende Luftſtrömung von ihm ferngehalten wurde. Jede Bewegung des Apparates wurde von außen bewirkt, und ſelbſt die Beobachtung geſchah von außen, damit auch nicht die Leibeswärme des Beobachters die Bewegungen der Kugeln ſtöre.

Dieſe Drehwage iſt offenbar nichts als ein ſchwingendes Pendel. Die Kraft aber, mit welcher ein Pendel in Bewegung geſetzt wird, entſpricht der Größe ſeiner ſeitlichen Verrückung und ſteht darum in demſelben Verhältniß zum ganzen Gewichte des Pendels, wie dieſe ſeitliche Verrückung zur Länge des Pendels. Für unſer Secundenpendel

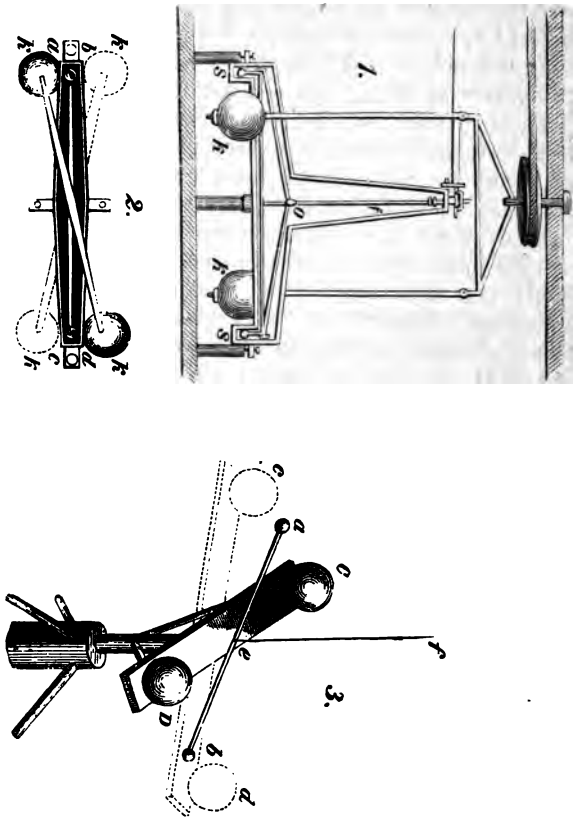


Fig. 36.

also, das eine Länge von etwas über 39 Zoll hat, beträgt die Kraft, welche es um 1 Zoll seitwärts zieht, $^1/_{39}$ seines Gewichts. Bei langsameren Schwingungen nimmt aber diese Kraft im Verhältniß der Quadrate der Schwingungszeiten ab, und wird also bei einer Schwingungsdauer von 10 Secunden für eine Verrückung von 1 Zoll nur noch $^1/_{3900}$ des Pendelgewichts betragen. Bei der Langsamkeit der Schwingungen in der Drehwage läßt sich die Schwingungszeit

leicht beobachten, und man kann dann auch die ihr entsprechende Zugkraft oder Anziehungskraft der großen Kugeln berechnen. Welche Feinheit der Beobachtung und Berechnung dabei erfordert wird, geht daraus hervor, daß die ganze Anziehung der großen Kugeln nur etwa $^1/_{20,000,000}$ des Gewichts der kleinen Kugeln beträgt. Aus der Größe und den Abständen der Kugeln von einander und aus der Größe der Erde und der Entfernung ihres Mittelpunktes von den Kugeln läßt sich dann das Verhältniß berechnen, in welchem die beobachtete Anziehung der großen Kugeln gegen die kleinen zu der Anziehung der Erde gegen die kleinen Kugeln, mit anderen Worten, zum Gewicht der letzteren steht. Aus diesem Verhältniß wird endlich auch das Gewicht der Erde selbst, ihre Dichtigkeit gewonnen. Das Ergebniß von mehr als 2000 Beobachtungen war eine Dichtigkeit der Erde, welche $5^2/_3$ mal die des Wassers übertrifft. Unser Erdball also, welcher ungefähr 2620 Millionen Kubikmeilen umfaßt, besitzt, nach jener Dichtigkeit zu schließen, ein Gewicht von $13^1/_2$ Quadrillionen Pfund.

Wie das Pendel, indem es die Erde gemessen und gewogen, uns ihre inneren Tiefen erschlossen und den phantastischen Traum einer belebten Unterwelt daraus verbannt hat, so hat es uns auch den Himmel geöffnet und uns gestattet, mit der Wage in der Hand seine unermeßlichen Räume zu durchschreiten. Denn das Gesetz der Anziehung besteht zwischen Sonne und Planeten gerade so, wie zwischen den Bleikugeln der Drehwage. Da das Gewicht eines Körpers der Anziehung entspricht, welche er ausübt, so haben wir nur die Anziehungen der Himmelskörper gegen einander auf gleiche Entfernungen zurückzuführen und zu vergleichen, um ihre Massen zu wägen. Diese Anziehungen sind überdies keine einseitigen; jeder Zug, den ein großer Körper auf einen kleinen ausübt, wird von einem Zuge des kleinen Körpers gegen den großen begleitet, und wenn der eine in seinen Bewegungen gestört wird, so wird es auch der andere; der eine freilich mehr, der andere weniger, im Verhältniß der anziehenden Massen. So ist also die Bewegung, zu welcher der Zug eines Körpers den andern antreibt, oder die Störung, welche er in seiner Bewegung veranlaßt, auch das Maaß für seine Masse. Das ist das große Geheimniß der neueren Astronomie, das sie nicht allein Sonne, Planeten und Monde messen und wägen und ihre Bewegungen und Erscheinungen im Voraus auf Minuten und Secunden bestimmen läßt, das sie vor Kurzem noch selbst unbekannte und ungesehene Planeten berechnen und der staunenden Menschheit mit unerschütterlicher Gewißheit zurufen ließ: Wende dein Auge dorthin an jenen Punkt des Himmels

dort muß ein Planet stehen, ungeahnt und nur erschaut durch die Rechnung!

Kein anderes physikalisches Gesetz hat eine so weitgreifende Bedeutung, als das Gesetz der allgemeinen Anziehung. Bis zu Räumen, aus welchen das Licht selbst, um zu uns zu gelangen, Jahrzehnte und Jahrhunderte gebraucht, hat es gestattet, Massen zu wägen. Denn in der That sind die um einander kreisenden Doppelsterne zum Theil nicht ohne Glück zu wägen versucht worden. Aber wie die großen Himmelskörper sich nach den Gesetzen der Schwere bewegen, gerade so offenbart sich dies Gesetz auch in den kleinsten, unscheinbarsten, selbst willkürlichen Bewegungen um uns auf der Erde. Wie die Bewegung der Himmelskörper ein stetes Fallen, so ist es auch unser eigener Gang.

Wir empfinden die Einwirkung der Schwere nicht, so lange wir stehen; denn unser Körper bleibt im Gleichgewichte, weil seine Schwerlinie zwischen unsere Beine fällt. Wenn wir aber gehen wollen, so schiebt das eine Bein, dem wir eine schiefe Stellung nach hinten geben, durch die Spannkraft seiner Muskeln den ganzen Körper vorwärts. Diese schief von unten nach oben wirkende Kraft können wir uns nun zerlegt denken in eine senkrechte, welche den Schwerpunkt trägt, und in eine wagerechte, welche ihn vorwärts schiebt. So leicht auch die aufwärts gerichtete Bewegung die entgegenwirkende Schwere zu überwinden vermag, so würde der Körper dennoch, weil er durch die wagerechte Bewegung über seinen früheren Stützpunkt hinausgeführt ist, fallen. Um ihn deshalb abermals zu unterstützen, wird schnell das andere Bein nach vorn geschwungen, und indem es, auf die Erde gesetzt, sich senkrecht stellt, hebt es das begonnene Fallen wieder auf. Der Schwerpunkt des Körpers wird dabei also fast stets in gleicher Höhe über den wagerechten Boden hingeführt. Nur beim Sprunge wird der ganze Körper aufwärts geschnellt, indem beide Füße den Erdboden verlassen. Bewegen wir uns auf einer schiefen Ebene abwärts, so erhält der Zug der Schwere ein Uebergewicht; der Körper wird mehr nach vorn geschoben und gewinnt durch das Niedersetzen des vorgestreckten Beines nicht das volle Gleichgewicht wieder, verlangt also ein schnelles Nachziehen des andern Beines. Es kommt zum wirklichen Falle, wenn die Geschwindigkeit der Muskelbewegung dem Stoße nach vorn nicht entsprechen kann.

Während dieser beständigen Versuche, den durch die Muskelkraft des einen Beines vorwärts geschobenen Körper durch das andere Bein im Gleichgewichte zu erhalten, führen die Beine eine Bewegung aus.

die keine andere als die vielbesprochene Pendelbewegung ist. Mit den runden Schenkelköpfen gleichsam aufgehängt in den Pfannen zu beiden Seiten des Beckens, schwingen sie um diese Aufhängungspunkte, wie das Pendel, das durch den Stoß aus seiner Ruhelage entfernt wird. Noch überzeugender tritt diese Pendelbewegung hervor, wenn wir uns mit einem Beine auf eine Erhöhung stellen, und das andere durch seine eigene Schwere hin- und herschwingen lassen. Wir erhalten dann wirklich, wie beim Pendel der Uhr, eine Art von Zeitmaaß, das die Geschwindigkeit unseres Ganges bestimmt.

Diese Geschwindigkeit des Ganges hängt offenbar, wie die des Pendels, von der Länge der Beine ab, und ist daher bei den geringen Unterschieden, welche diese im Allgemeinen bietet, eine ziemlich gleiche. Nur die größere Muskelkraft Einzelner vermag sie zu beschleunigen und größere und schnellere Schritte zu bewirken. Im Laufe führt der aufgehobene Fuß immer nur eine halbe Schwingung nach vorn aus, da er senkrecht niedergesetzt wird, um den Schwerpunkt zu unterstützen. Wir machen dann also zwei Schritte in derselben Zeit, in welcher das als Pendel schwingende Bein eine ganze Schwingung vollendet. Beim langsamen Gange lassen wir dagegen den unterstützenden Fuß etwas länger ruhen und den sich bewegenden etwas mehr als eine halbe Schwingung machen. Aber auch bei der größten Langsamkeit kann das Bein doch nur die ganze Schwingung ausführen, also eine ganze Schwingungsdauer auf den Schritt verwenden. Je schnellere Schritte wir machen, desto größer werden sie auch, weil wir den Aufhängepunkt der Pendel, das Becken, gleichzeitig so viel schneller vorwärts schieben. Wir gewinnen also in doppelter Hinsicht bei schnelleren Schritten. Die gewöhnliche Zahl der Schwingungen, welche das Bein in einer Minute macht, ist 86; wir machen also im Laufe 172 Schritte in der Minute, und die Dauer eines solchen Schrittes beträgt dann $^7/_{20}$ Secunden.

Ohne das wahre Wesen dieser Bewegung zu ahnen, hat man doch schon vor Jahrtausenden eine gewisse Gleichmäßigkeit darin erkannt und sie als Maaß für Entfernungen benutzt. Man dachte freilich nicht daran, durch Beseitigung der in der Muskelbewegung begründeten Unregelmäßigkeiten in dieser Bewegung das genaueste aller Zeitmaaße zu finden. Erst spät ist das gelungen; man hat die Muskelkraft entfernt, den Aufhängepunkt fixirt, und das freihängende Pendel unserer Uhren war fertig.

Umschwungsbewegung und Pendelbewegung sind es, die bei aller Gleichmäßigkeit und Gesetzlichkeit doch den Eindruck der unstätesten und

ruheloseſten aller Bewegungen machen. Gleichwohl verbirgt ſich unter dieſer Unſtätigkeit gerade ein Moment ewiger Ruhe und Unwandelbarkeit, ein Bleibendes, das, unberührt vom wechſelnden Spiele irdiſcher Bewegungen, unberührt vom wirbelnden Tanze der Welten, ſich ewig gleich bewahrt. Das iſt die ruhende Axe in der Umſchwungsbewegung, die unveränderliche Schwingungsebene beim Pendel.

Reifen und Kreiſel veranſchaulichen am beſten dieſe Erſcheinung, die auf einem der einfachſten und doch am ſpäteſten erkannten Naturgeſetze beruht. Der Reifen, den der Knabe vor ſich herrollt, bleibt aufrecht, ſo lange ihm ſeine drehende Stellung erhalten bleibt. Bei dem bekannten Spiele, wo man den Reifen einander durch die Luft zuwirft und dann geſchickt mit einem Stabe aufzufangen ſucht, muß man dem Reifen eine wirbelnde Bewegung geben, damit er in einer beſtimmten Lage dem Andern zufliegt. Dem Kreiſel muß durch den Schlag mit der Peitſche die drehende Bewegung erhalten werden, wenn er nicht umfallen ſoll. Jeder weiß auch, daß ein kleiner Kreiſel, den man auf einem Tiſche tanzen läßt, wie man auch den Tiſch neigen möge, ſeine Stellung behauptet, daß er ſogar auf den Boden hinabgleitet und ungeſtört durch den Fall ſeinen Tanz fortſetzt.

Zur Erklärung dieſer Erſcheinungen bedarf es gar keiner myſtiſchen Eigenſchaft der Materie, wie man die Trägheit oft angeſehen hat, nämlich einer Abneigung jedes Körpers, ebenſo ſeine Ruhe aufzugeben, als ſeine einmal begonnene Bewegung abzuändern. Es genügt das einfache Geſetz, daß keine Wirkung denkbar iſt ohne Urſache, alſo auch keine Bewegung ohne bewegende Kraft. Daß eine Kugel, der wir einen Stoß geben, in gerader Linie fortrollt, iſt nicht wunderbar; aber ebenſo wenig wunderbar iſt, daß ein Kreiſel, dem wir durch einen Stoß eine beſtimmte Drehung geben, dieſe Richtung behält, ſo lange nicht eine andere Kraft ſie abändert. Nur eine Kraft aber, welche nicht auf den ganzen Körper gleichmäßig, ſondern nur auf einen einzelnen Theil desſelben wirkt, kann die Axe eines rotirenden Körpers aus ihrer Richtung bringen. Der Kreiſel wird alſo allerdings durch die Berührung mit dem rauhen Boden, auf welchem er ſich bewegt, einen Stoß erhalten können, der die Richtung ſeiner Drehungsaxe verändert. Berührte er die Ebene wirklich nur in einem Punkte, ſo wäre jede Richtungsveränderung ſeiner Axe unmöglich.

Einen Körper giebt es nun in der That, der ſich in ſeiner Bewegung unberührt von allen Störungen der Reibung erhält, das iſt unſere frei

im Raume schwebende, rotirende Erdkugel. Wohin sie auch auf ihrer weiten Bahn um die Sonne getragen wird, die Richtung ihrer Drehungsaxe muß unverändert bleiben. Ebenso gehorchen auch alle andern Himmelskörper, wo sie auch immer durch den Weltraum wandeln mögen, diesem Gesetze. Dieses Gleichbleiben der Axenrichtung ist aber für uns von großer Wichtigkeit. Der regelmäßige Wechsel der Jahreszeiten ist dadurch bedingt. Es würde eine unsägliche Verwirrung auf Erden anrichten, wenn die Erdaxe, statt beständig gegen den Polarstern gerichtet zu sein, bald hierhin, bald dorthin zeigte, und wir die Sonne bald hoch am Himmel, bald tief am Horizont erblickten. Wenn daher einzelne Geologen durch die Beobachtung einer eigenthümlichen Verbreitung der Pflanzen und Thiere in der Vorwelt zu dem Schlusse gekommen sind, daß einmal wichtige Aenderungen in den Climaten der verschiedenen Erdtheile stattgefunden haben müssen, und wenn sie diese nun auf eine veränderte Stellung der Erdaxe zurückführen wollen, so gibt es gerade nichts Unmöglicheres, als dies. So mächtig vielmehr ist das Streben der Rotation, die Stellung der Axe unverändert beizubehalten, daß wir dreist behaupten dürfen, die Erdaxe sei niemals in einer andern Stellung gewesen und werde auch niemals in eine andere kommen, als zur Zeit, wo die Erde zuerst ihre Bewegung empfing.

Was für die Axe der rotirenden Bewegung, das gilt nun auch für die Schwingungsebene des Pendels. Durch den ersten Stoß, der das Pendel in Bewegung setzt, ist sie für immer gegeben. Es ist gar nicht denkbar, daß diese Ebene ihre Lage im Raume je ändern sollte, weil ohne einen neuen Stoß gar kein Grund vorhanden ist, daß sie nach der einen Richtung eher als nach der andern eine Drehung erfahren sollte. Auch der Aufhängepunkt, vorausgesetzt, daß das Pendel wirklich nur an einem Punkte hängt, kann seine Bewegungen dem Pendel nicht mittheilen. Denn ein Punkt kann weder eine Drehung um sich selbst empfangen, noch eine seitliche Bewegung mittheilen; das vermag nur ein Körper. Leon Foucault hat diese, auf einfachen Vernunftschlüssen beruhende Thatsache durch einen Versuch zur Anschauung gebracht. Er befestigte an der Axe einer Drehbank, und zwar in der Richtung derselben, einen runden biegsamen Stahlstab, den er durch Ablenkung aus seiner Gleichgewichtslage in Schwingungen versetzte. Die durch die schnell auf einander folgenden Eindrücke auf die Netzhaut sichtbar werdende Schwingungsebene nahm deutlich eine feste Lage im Raume ein, die sich nicht veränderte, wie schnell er auch die Spindel mit der Hand drehte. Noch einfacher können wir denselben Versuch täglich

machen, wenn wir eine etwas schwere Kugel an einem leichten Faden schwingen lassen, den wir in der Hand oder an einem langen Stabe halten. Die Schwingungen behaupten stets die gleiche Richtung, auch wenn wir im Kreise durch das Zimmer gehen. Was also der Kreisel auf dem geneigten Tische, was die rotirende Erde auf der Bahn um die Sonne, das ist das frei schwingende Pendel für die rotirende Erde. Seine unveränderliche Schwingungsebene macht uns die Bewegung des Erdbodens sichtbar, und so liefert es uns den augenscheinlichsten Beweis für die Axendrehung der Erde. Am einfachsten und überzeugendsten würde dieser Beweis sich an einem der Pole der Erde gestalten. Hier wird der Beobachter genau in 24 Stunden rings um das Pendel herumgeführt werden, oder er wird vielmehr, wenn er von seiner eigenen Bewegung nichts ahnet, die Schwingungsebene des Pendels dieselbe Bewegung, wie das Himmelsgewölbe, machen sehen. Nach 24 Stunden wird das Pendel, wie der Zeiger einer Uhr, scheinbar eine volle Umdrehung um die Erdaxe von Ost nach West vollbracht haben. Unter unseren Breiten verliert diese Erscheinung durch die Theilnahme des Aufhängepunktes an der Bewegung der Erde etwas an Einfachheit. Die fortschreitende Bewegung der Schwingungsebene wird verzögert, und das schwingende Pendel durchläuft unter dem 50. Breitengrade etwa erst in 31 Stunden alle Striche der Windrose. Immerhin bleibt der Beweis überzeugend genug für die Anschauung. Mit eigenen Augen sieht der Beobachter das schwingende Pendel nach Westen fortrücken, wie einen Zeiger der großen Weltenuhr.

Leon Foucault war es, der am 3. Februar 1851 zuerst auf diesen unwiderleglichen Beweis für die Axendrehung der Erde aufmerksam machte und in einem Kellergewölbe zu Paris den ersten Versuch anstellte. Seitdem haben Tausende bereits stumm und andachtsvoll den langsamen und geräuschlosen Schwingungen eines solchen Pendels zugeschaut, tief ergriffen von dem Gedanken, daß der feste Boden unter ihren Füßen, daß die stolzen Säulen und Mauern und sie selbst mit ihnen um dieses in gleichmäßigem Gange hin und her schwebende Pendel kreisen, das nicht mehr der Erde, das gleichsam dem Himmelsraume angehört, bestimmt, dem Erdenbewohner ein Augenzeugniß von der Beweglichkeit seiner Wohnstätte abzulegen.

Viertes Kapitel.

Das Gleichgewicht und die Bewegung flüssiger Körper.

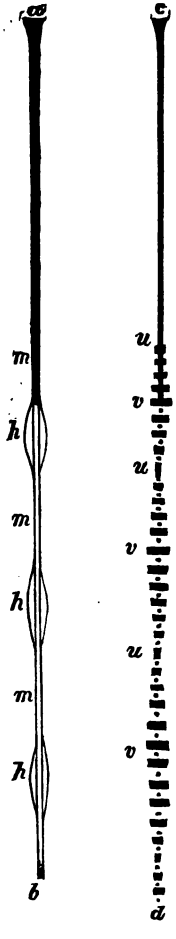
Tropfen und Strahl.

Die flüssigen Körper unterscheiden sich von den festen wesentlich dadurch, daß sie der Verschiebung oder Trennung ihrer Theile nur einen geringen Widerstand entgegensetzen. Schon die Schwere reicht hin, den Zusammenhang ihrer Theile aufzuheben und sie zum Auseinanderfließen zu veranlassen. Es ist daher unmöglich, Flüssigkeiten für sich allein zu erhalten, ohne sie in Gefäße mit festen Wänden einzuschließen. Gleichwohl fehlt eine innere Zusammenhangskraft oder Cohäsion auch flüssigen Körpern nicht ganz, und sie kann sogar in sehr kleinen Flüssigkeitsmassen die Einwirkung der Schwere überwinden. Bei solchen kleinen Massen, wie sie sich bei der Verdichtung von Dämpfen zu bilden pflegen, wirkt die Schwere wohl noch auf die Gesammtheit der Theilchen und zwingt sie, zu fallen, wie jeden Körper; aber die Entfernungsunterschiede der Theilchen sind zu gering, als daß ihre Schwere Trennungen bewirken könnte. Die gegenseitige Anziehung der Theilchen kann dann also als die einzig wirkende Kraft betrachtet werden. Diese wirkt aber in allen Theilchen gleich; jedes wird gezogen und zieht das andere, jedes drückt nach allen Seiten und wird von allen Seiten in gleicher Stärke wieder gedrückt. Die Theilchen halten also einander nur im Gleichgewichte, wenn sie sich gleichförmig um einen Mittelpunkt gruppiren, und die Form dieser gleichmäßigen Vertheilung und allseitigen Begrenzung ist die Kugel. Ueberall, wo die Kraft gegenseitiger Anziehung der Theilchen allein und ungestört wirkt, erzeugt sich die Kugelgestalt des Tropfens. Der Weltkörper ist ebenso ein Tropfen im Weltraume, wie der Wassertropfen in der Regenwolke, und die gesammten Gewässer der Erde schließen sich ebenso zu einem großen Tropfen zusammen, der die weiten Räume des Sonnensystems durchrollt, wie der kleine Thautropfen, der im Grase funkelt.

Der Tropfen für sich ist der Schwere unterworfen und fällt. Fallen mehrere Tropfen schnell hinter einander, so erscheinen sie als zusammenhängender langgezogener Strahl. Aber dieser Strahl ist

keineswegs ein gleichförmiger ununterbrochener Flüssigkeitsfaden, wie er scheint. Beobachtet man ihn gegen einen dunkeln Hintergrund, so sieht man ihn oben bei a völlig klar und durchsichtig, anfangs schnell, weiter unten immer langsamer an Dicke abnehmend. Allmälig geht er dann in eine ganz eigenthümliche Gestalt über, indem er sich bauchförmig in die Breite dehnt und sich dann wieder abwechselnd zusammenschnürt. Diese Bäuche sind dunkel und trübe und sehen fast aus, wie aus vielen dünnen Häuten zusammengesetzt. Nur der klare Hauptstrahl scheint durch alle diese Bäuche hindurch zu gehen. Aber auch diese sonderbare Form des Flüssigkeitsstrahls beruht nur auf einer Täuschung, die dadurch hervorgebracht wird, daß sich der Eindruck, den unser Auge von jedem Tropfen empfängt, eine kurze Zeit lang erhält und so mit dem nächstfolgenden zu einem einzigen zusammenschmilzt. Es ist eine ähnliche Täuschung, wie der Feuerring, welchen uns eine im Kreise geschwungene glühende Kohle erblicken läßt.

Fig. 37.



Man kann sich davon leicht überzeugen, wenn man den Strahl mehr von oben her betrachtet, und am besten, wenn die Tropfen einander langsamer folgen. Man sieht dann nicht mehr einen zusammenhängenden Strahl, sondern eine Reihe großer Tropfen, in ansehnlichen Abständen einander folgend. Ja, man kann die Tropfen bereits einzeln auffallen hören und sie zählen, wenn das Auge von unten her noch einen zusammenhängenden Strahl erblickt. Wenn man einen in der Bildung begriffenen Strahl beobachtet, so sieht man zuerst einen einzelnen Tropfen, der sich vergrößert, bis er einen gewissen Umfang erreicht hat, dann sich in Folge der Schwere plötzlich birnförmig verlängert und herabfällt. Ein zweiter, kleinerer Tropfen folgt ihm augenblicklich. Die an der Oeffnung hängen gebliebene Flüssigkeit zieht sich dann plötzlich zurück, nimmt wieder eine abgerundete Tropfengestalt an, die sich wieder

verlängert und zusammenzieht, bis sich wieder ein Tropfen mit seinem kleineren Begleiter losreißt. Jeder der beiden, fast gleichzeitig fallenden Tropfen hinterläßt ein kurz andauerndes Bild im Auge, welches durch die Bilder der folgenden Tropfen abgelöst wird. So erscheinen uns also gleichsam zwei Strahlen, deren einer den andern umschließt. Die sonderbare Erscheinung der abwechselnden Bäuche h und Einschnürungen m findet nun auch ihre Erklärung. Die Bewegungen, durch welche der Tropfen seine Kugelgestalt erhielt, können nämlich natürlich nicht mit seinem Falle aufhören. Der Tropfen beginnt von Neuem, die Gleichgewichtsform anzustreben und sich in die Breite zu dehnen, bis wieder der Zug der Schwere das Uebergewicht erlangt und ihn in die Länge dehnt. Jeder Tropfen wechselt also beständig in seiner Größe und Form, und da es während des Falles geschieht, so muß der scheinbare Strahl an gewissen Stellen Erweiterungen zeigen, die uns als Bäuche erscheinen.

Der Druck der Flüssigkeiten.

Nur in sehr kleinen Flüssigkeitsmassen überwiegen die inneren Anziehungskräfte die gewaltige Schwerkraft. Durch das Uebergewicht der letzteren fließen die einzelnen Tropfen in einander und breiten sich zu einer Fläche aus. So sind die Millionen Wassertropfen auf der Erde zu einem Wasserspiegel geworden, der sich der Oberfläche der Erde anschließt und gleichsam einen Theil jenes großen Weltentropfens bildet, den man Erde nennt.

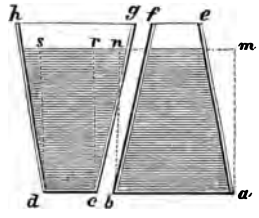
Sobald an die Stelle der inneren Anziehungskräfte der Tropfen die Anziehungskraft der Erde getreten ist, bedarf eine Flüssigkeitsmasse, um zusammengehalten zu werden, wegen der leichten Verschiebbarkeit der Theilchen, fester, umschließender Wände. Eben deshalb bildet aber auch die freie Oberfläche einer von einem Gefäße eingeschlossenen Flüssigkeit eine horizontale oder wagerechte, d. h. auf die Richtung der Schwere senkrechte Ebene. Darauf beruht der Gebrauch der Wasserwage, der künstlichen Horizonte, der Dosen- oder Röhren-Libellen. Zugleich wird das Gleichgewicht im Innern der Flüssigkeit nur bestehen können, wenn jedes Flüssigkeitstheilchen von allen Richtungen her den gleichen Druck erleidet und, bei der leichten Verschiebbarkeit, auch nach allen Richtungen fortpflanzt. Ein Druck, der von außen auf irgend eine Stelle einer solchen eingeschlossenen Flüssigkeit ausgeübt wird,

muß sich mit gleicher Stärke durch die ganze Flüssigkeit fortpflanzen, und vermag daher, so gering er auch war, einen großen Gesammtdruck auszuüben.

Der Druck einer Flüssigkeit in einem Gefäße äußert sich wegen der Verschiebbarkeit der Theilchen wesentlich anders, als der Druck eines festen Körpers. Während der feste Körper nur auf den Boden drückt, und zwar genau mit seinem ganzen Gewichte, drückt die Flüssigkeit nicht blos allseitig, also auch auf die Seitenwände des Gefäßes und selbst nach oben, sondern es entspricht auch ihr Druck auf den Boden nicht immer dem Gewichte der in dem Gefäße enthaltenen Flüssigkeit, sondern kann bald größer, bald kleiner als dieses sein. Da nämlich jedes Flüssigkeitstheilchen mit seinem Gewichte auf die senkrecht unter ihm befindlichen Theilchen drückt, so erfährt jedes Theilchen am Boden einen Druck, der dem Gewichte aller senkrecht über ihm bis zum Niveau vorhandenen Theilchen entspricht. Da aber der Druck, den jedes Theilchen am Boden erleidet, zugleich ein allseitiger ist, so müssen auch alle Theilchen am Boden den gleichen Druck erfahren. Der Druck, den der ganze Boden des Gefäßes erleidet, ist also unabhängig von der Form des Gefäßes, er entspricht allein der Größe des Bodens, der Höhe des Niveaus und der Dichtigkeit der Flüssigkeit; er ist, mit andern Worten, gleich dem Gewichte einer Flüssigkeitssäule, welche den Boden zur Grundfläche und die Höhe des Flüssigkeitsspiegels über dem Boden zur Höhe hat.

Man bezeichnete diese Erscheinung in der alten Physik als das „hydrostatische Paradoxon", also als etwas Unbegreifliches, Wunderbares.

Fig. 38.

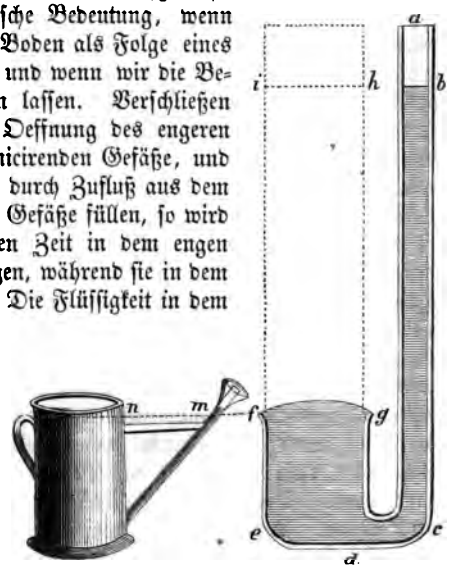


In der That kann es den Laien in Erstaunen setzen, zu hören, daß die gleiche Wassermenge in zwei verschieden geformten Gefäßen, wie abfe und cdhg, einen so verschiedenen Druck auf den Boden ausüben solle, daß er in abfe gerade 4mal so groß sei, als in cdhg, weil die Bodenfläche jenes Gefäßes 4 mal so groß ist, als die des letzteren. Gleichwohl vermag man Jeden von der Richtigkeit dieses Satzes durch ein einfaches Experiment zu überzeugen. Es bedarf dazu verschieden geformter Gefäße mit beweglichem Boden, der mit Hülfe eines darunter angebrachten Hebels durch Gewichte aufwärts gedrückt werden kann.

Welche Gestalt auch die Gefäße haben mögen, wenn sie nur bis zu derselben Höhe mit Wasser gefüllt sind, und wenn der Boden nur die gleiche Größe hat, immer werden dieselben Gewichte das Emporheben des Bodens bewirken.

Aus diesem Gesetze erklären sich aber auch die Erscheinungen, die bei Gefäßen stattfinden, welche so mit einander verbunden sind, daß eine Flüssigkeit ungehindert aus dem einen in das andere gelangen kann. Der Physiker nennt solche Gefäße communicirende Gefäße. In diesen Gefäßen, wie sie am einfachsten unsere Gießkannen, Oellampen, Theekannen ꝛc. darstellen, stellt sich die Flüssigkeit stets gleich hoch, wie verschieden auch die Gefäße an Form und Weite, wie verschieden auch das Gewicht der Flüssigkeitsmassen sein mag. Das Gleichgewicht kann eben nur stattfinden, wenn der Druck am Boden der gleiche ist, und dies ist nur bei gleichem Niveaustande der Fall. In communicirenden Gefäßen halten also zwei ungleiche Flüssigkeitsmassen einander im Gleichgewicht. Dies erhält eine praktische Bedeutung, wenn wir den Druck auf den Boden als Folge eines Fallbestrebens auffassen, und wenn wir die Bewegung wirklich eintreten lassen. Verschließen wir zunächst die untere Oeffnung des engeren Schenkels solcher communicirenden Gefäße, und lassen wir ihn dann sich durch Zufluß aus dem vielleicht 10mal weiteren Gefäße füllen, so wird die Flüssigkeit in derselben Zeit in dem engen Schenkel um 10 Zoll steigen, während sie in dem weiten um 1 Zoll sinkt. Die Flüssigkeit in dem engeren Gefäße besitzt also eine 10mal so große Geschwindigkeit der Bewegung und kann darum nach dem allgemeinen mechanischen Gesetze einer 10mal so großen Masse das Gleichgewicht halten. Beim Hebel führte uns dasselbe Gesetz zu der praktischen Folgerung einer Kraftersparniß. Auch hier wird eine solche eintreten, wenn wir das Geheimniß dieser Krafterspärung

Fig. 38.



richtig auffassen, nämlich als die Ersetzung einer Kraft durch die Geschwindigkeit der Bewegung. Die geringere Masse einer Flüssigkeit muß sich also durch ein größeres Fallbestreben oder, was dasselbe ist, durch eine geringere Weite des Gefäßes ersetzen lassen. Mit andern Worten: Durch geringe Flüssigkeitsmassen läßt sich ein bedeutender Druck gegen große Flächen ausüben, wenn man nur große Druckhöhen anwendet.

Auf diesem Satze beruht die wichtige Anwendung des Flüssigkeitsdruckes als bewegender Kraft für Maschinen. Die einfachste Form dieser Anwendung zeigt die sogenannte hydraulische oder Brahma'sche Presse. Wenn man nämlich von zwei communicirenden Röhren die eine verkürzt und deren obere Oeffnung durch einen Deckel verschließt, so wird dieser Deckel offenbar von unten her genau denselben Druck auszuhalten haben, welchen die darüber fehlende Flüssigkeitssäule von oben her ausgeübt haben würde. Dieser Druck entspricht also einerseits der Höhe des Flüssigkeitsstandes über dem Deckel und andererseits der Fläche des letzteren. Ist nun die verkürzte Röhre (d e f g) zugleich die weitere, übertrifft sie die andere (b c) etwa 10 mal im Durchmesser, so wird eine Wassersäule, die in der engen Röhre einen Druck von 1 Pfd. ausübt, auf den verschließenden Deckel der weiten Röhre mit einer Kraft von 100 Pfd. wirken. Ersetzen wir nun die enge Röhre durch eine Druckpumpe und die damit communicirende weite Röhre durch einen eisernen Cylinder, in welchem ein Kolben auf und ab bewegt werden kann, so haben wir eine Brahma'sche Presse vor uns. Der Druck des Kolbens in der kleinen Druckpumpe erhöht hier noch die Wirkung der kleinen Wassersäule auf den Kolben des weiten Cylinders. Die Wirkung dieser Vereinigung von Wasserdruck und Hebelkraft ist eine ungeheure. Der Kolben in dem weiten Cylinder wird zwar nur um wenige Linien aufwärts bewegt, aber sein Druck gegen die zu pressenden Papier- oder Zeugmassen ist außerordentlich groß. Nehmen wir an, daß die Menschenkraft, welche den Pumpenkolben bewegt, nur mit einer Kraft von 100 Pfund wirke, so kann, da dieser Kolben durch eine Hebelstange bewegt wird, diese Kraft durch das Verhältniß der Hebelarme verzehnfacht werden. Der Kolbendruck erreicht dann bereits eine Höhe von 1000 Pfund. Uebertrifft nun aber der Durchmesser des weiten Cylinders den des engen Pumpenrohres noch um das 10 fache, so vermag die einzelne Menschenhand durch die Kolbenbewegung einen Druck von 100,000 Pfunden auszuüben. Mag auch ein Viertel dieses Druckes durch die Reibung verloren gehen, so bleibt immerhin der gewaltige

Druck von 750 Centnern übrig, der bei einer doppelten Weite des eisernen Cylinders sogar auf 3000 Centner gesteigert werden kann. Kaum irgend eine andere mechanische Vorrichtung vermag einen ähnlichen Gewinn an Kraft zu gewähren, wie diese hydraulische Presse, die daher in Fabriken zum Pressen von Tuch und Papier, sowie bei der Prüfung der Festigkeit von eisernen Drahtseilen, Ketten, Stäben ꝛc. für Kettenbrücken kaum ersetzt werden kann.

Die Bewegung flüssiger Körper.

Wenn der Widerstand, welchen die festen Wände oder der Boden eines Gefäßes dem Drucke einer Flüssigkeit entgegensetzen, an irgend einer Stelle aufgehoben wird, so tritt eine Bewegung ein: die Flüssigkeit beginnt zu fließen. Befindet sich die Oeffnung in einer Seitenwand, so entspricht der Druck dem Gewichte einer Flüssigkeitssäule, welche die Höhe des Flüssigkeitsspiegels über der Oeffnung zur Höhe und die Oeffnung selbst zur Grundfläche hat. Befindet sich die Oeffnung im Boden, so entspricht gleichfalls der Druck der Niveauhöhe. Immer wird also die Geschwindigkeit der ausfließenden Flüssigkeit durch diese Druckhöhe bedingt sein. Der Druck selbst aber ist nichts Anderes, als die Schwere, die Bewegung der ausfließenden Flüssigkeit also nichts Anderes, als die Verwirklichung des Fallbestrebens, der freie Fall. Die Geschwindigkeit der ausfließenden Flüssigkeit ist darum genau dieselbe, welche ein Körper durch den freien Fall vom Spiegel der Flüssigkeit bis zur Ausflußöffnung erlangen würde. Bei einer Druckhöhe von 4 Fuß wird eine Flüssigkeit 2mal, bei einer Druckhöhe von 9 Fuß 3mal so schnell ausfließen, als bei einer Druckhöhe von 1 Fuß. Auch die Bahn der ausfließenden Flüssigkeit wird durch das Gesetz des Falles bestimmt. Es ist dieselbe krumme Linie, welche jeder geworfene Körper beschreibt, die Parabel, die erzeugt wird durch die gemeinsame Wirkung zweier Kräfte, des Stoßes und der beschleunigend nach unten ziehenden Schwere.

Wenn es überhaupt das Gesetz der Schwere ist, welchem die fallende Flüssigkeit folgt, so muß sie auch, wenn der Druck nach oben gerichtet ist, mit derselben Kraft in die Höhe steigen, mit welcher sie herabfallen würde, gerade wie der Wurf eines Steines nach oben die gleiche Kraft erfordert, die er beim Niederfallen ausübt. Eine solche aufwärts gerichtete Bewegung entsteht aber, wenn man bei communi-

cirenden Röhren den engeren Schenkel verkürzt und bis auf eine kleine, nach oben gerichtete Oeffnung verschließt. Der Strahl, welcher durch den Druck der darüber lastenden Flüssigkeitssäule durch diese Oeffnung emporgetrieben wird, müßte danach genau zur vollen Höhe der drückenden Flüssigkeit steigen. Springbrunnen sehen wir indeß niemals zur Höhe des speisenden Bassins emporspringen. Der Widerstand der Luft ist es nicht allein, welcher dieses Aufsteigen verhindert. Auch der Umstand, daß bei dem senkrechten Aufsteigen des Strahles die rückkehrenden Tropfen mit niederwärts beschleunigter Bewegung in den Strahl zurückfallen, und so ein Zusammenstoß entgegengesetzt gerichteter Wassertropfen stattfindet, wird zu einem starken Hinderniß für das Aufsteigen des Strahles. In Wirklichkeit springt der Strahl eines Springbrunnens daher selten bis zu $^2/_3$ der wirkenden Druckhöhe. Nur wenn ein Windstoß den senkrechten Strahl einmal zur Seite neigt und also die aufsteigenden Tropfen frei macht, sieht man für Augenblicke ein merklich höheres Aufspringen eintreten.

Ein wichtiger Widerstand aber, welchen alle ausfließende und emporspringende Flüssigkeit erfährt, wird durch die Wandungen der Ausflußröhren und selbst durch die Ränder der Ausflußöffnungen bewirkt. Wenn im Springbrunnen die sich nach oben verdickende, gleichsam im Steigen wachsende Gestalt des Strahles bildlich den Kampf der einander zurückdrängenden steigenden und fallenden Tropfen darstellt, so spiegelt sich in der Zusammenziehung des Strahles die Störung, welche die Flüssigkeit bei ihrem Ausflusse erfährt. Wenn man das Ausfließen des Wassers aus der Bodenöffnung einer gefüllten Wanne betrachtet, so wird man sehen, daß anfangs alle die verschiedenen horizontalen Wasserschichten mit ziemlich gleichmäßiger Geschwindigkeit herabsinken, daß aber allmälig eine sich beschleunigende Bewegung gegen die Oeffnung hin eintritt, bis sich endlich über dieser eine trichterförmige Vertiefung bildet, in welcher das Wasser sogar oft eine wirbelnde Bewegung annimmt. Diese Erscheinung erklärt sich einfach daraus, daß die senkrecht über der Bodenöffnung befindlichen Wassertheilchen eine größere Geschwindigkeit haben und einen geringeren Seitendruck erleiden müssen, als die benachbarten Theile, woraus denn eine Bewegung aller Wassertheilchen gegen die Oeffnung hin und eine Verzögerung der senkrecht fallenden folgt. Noch stärker tritt dies natürlich bei Seitenöffnungen hervor, wo selbst verschiedene Druckhöhen in den verschiedenen Theilen der Oeffnung wirken. Aber diese Bewegung im Innern muß sich auch nach außen in dem ausfließenden Strahle fort-

setzen und hier sogar noch auffallender werden, weil hier zugleich die Fallgeschwindigkeit des Wassers zunimmt. So entsteht jene Zusammenziehung des Strahles, die man bei jedem Ausflusse einer Flüssigkeit beobachten kann. Offenbar hat auch die Ausflußöffnung selbst einen Antheil an dieser Gestaltung des Strahles. Denn die ohnehin schon durch die Seitenströmungen verzögerten Wassertheilchen erleiden hier eine neue Verzögerung durch die Reibungswiderstände am Rande der Oeffnung. Je dünner daher die Platte ist, aus deren Oeffnung das Wasser fließt, desto weniger wird es aufgehalten und abgelenkt. Sind aber vollends Ansatzröhren vorhanden, so kann ihr Widerstand die Ausflußgeschwindigkeit des Wassers so bedeutend schwächen, daß bei einer gewissen Länge einer solchen Röhre das Wasser nur noch tropfenweise ausfließt. Den geringsten störenden Einfluß üben dann noch solche Ansatzröhren aus, welche entweder nach außen erweitert oder in solcher Weise kegelförmig verengt sind, daß sie genau die Gestalt des eingeschnürten Strahles nachahmen.

Alle fließende und strömende Bewegung einer Flüssigkeit ist nur ein Fallen auf geneigter Ebene. Bei der leichten Verschiebbarkeit der Flüssigkeitstheilchen aber wirken die Widerstände an den Rändern oder am Boden nicht gleichmäßig auf die gesammte Flüssigkeitsmasse ein. Vielmehr werden nur die Theilchen am Boden und an den Rändern aufgehalten, und sogar an der Oberfläche hemmt der Widerstand der Luft ein wenig die fließende Bewegung. Die mittleren Theile strömen also stets schneller fort, als ihre Umgebung, und durch die Widerstände von den Seiten her wird sogar die Flüssigkeit gegen die Mitte des Stromes etwas zusammengedrängt, so daß sie sich, wenn auch dem Auge unmerklich, in gewölbter Fläche erhebt. An jedem Bache kann man deutlich diese Strömungserscheinungen wahrnehmen. Da, wo er sich erweitert und verflacht, sieht man den Strom mitten durch den stillen Wasserspiegel an den Ufern hinschießen. Wo sich aber der Bach ein tieferes Bett in den Boden gewühlt hat, bleiben die ruhigen Wasser in der Tiefe, und über ihnen gleitet der Strom dahin.

Aber das fließende Wasser erfährt nicht blos Widerstände und Hemmungen in seiner Bewegung durch Ränder und Boden, sondern es überwindet auch solche Widerstände und bewirkt Bewegungen durch seinen Stoß. Jeder Bach läßt das beobachten. In wilder Eile stürmt er dahin, wo noch der harte Felsboden sein Bett bildet; vergebens müht er sich, seinen vom Regen angeschwollenen Fluthen Raum zu schaffen in der engen Rinne. In dem weichen Wald- und Wiesenboden

beruhigt sich sein Lauf; er wühlt sich in die Tiefe, wo ihm die Ufer zu enge werden, oder er durchbricht diese und berieselt die weite Wiesenfläche. Wo er sich am meisten in die Breite dehnt, da ist er in der Regel am besten zu durchwaten; denn gerade da hat er seine geringste Tiefe, weil die nachgebenden Ufer ihn nicht zwangen, nach unten Raum zu suchen. Da, wo der Bach sich buchtenförmig wendet, hat der Stoß seines Wassers am kräftigsten gewirkt; dort sind seine Ufer am steilsten, am tiefsten eingeschnitten, während an der gegenüber liegenden Seite in Folge verminderter Geschwindigkeit der abgespülte Sand wieder abgesetzt und ein seichtes Ufer gebildet wird. Erst der Widerstand der großen Wassermasse eines Sees oder Flusses, in welchen der Bach mündet, bringt seinen stürmischen Lauf völlig zur Ruhe. Hier läßt er die letzten mit fortgeschwemmten Sand- und Erdmassen zum Grunde sinken, und eine kleine Sandbank zeigt die Größe seiner früheren Zerstörungen. Was der Bach im Kleinen, das üben im Großen die Flüsse und Ströme. Sie schaffen Inseln, Dämme, fruchtbare Länder. Holland und das ägyptische Delta sind Schöpfungen der zerstörenden Macht der Ströme im Kampfe mit ihren Ufern, im Ringen nach Raum für den gleichmäßigen Abfluß ihrer Wassermassen.

Dieselbe Ufer und Bett auswühlende, Felsen zertrümmernde Kraft des Wassers, sein Stoß, ist es aber auch, welche der Mensch sich für seine Maschinen dienstbar macht. Der Stoß des fließenden Wassers ist es, welchen er auf den Umfang seiner Mühlräder, wie auf das Ruder wirken läßt, welches der Schiffer gegen das Wasser stemmt, um den Kahn vorwärts zu bewegen. Dieser Stoß ist ein gewaltiger. Seine Wirkung entspricht dem Producte aus der Geschwindigkeit und Masse des gegenströmenden Wassers. Da aber die Massen ausströmender Flüssigkeiten bei gleicher Weite der Ausflußöffnungen wieder durch die Geschwindigkeit ihrer Bewegungen gemessen werden, so entspricht die volle Stoßwirkung eines Stromes dem Quadrate seiner Geschwindigkeit. Dies erklärt uns die furchtbaren Verheerungen, welche Bergströme trotz der geringen Masse ihres Wassers durch die Steilheit ihres Sturzes anzurichten vermögen.

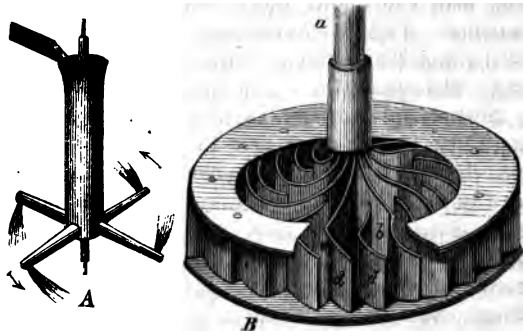
Die Benutzung der Wasserkraft zur Bewegung von Mühlen ist eine der ältesten Anwendungen einer Naturkraft überhaupt. Am vortheilhaftesten sind die oberschlächtigen Wasserräder, bei welchen das Wasser von oben her in die am Umfange des Rades befindlichen Kasten stürzt. Hier ist außer der Geschwindigkeit des Stoßes auch das Gewicht des herabfallenden Wassers wirksam. Freilich erfordern

sie ein bedeutendes Gefälle des Wassers und sind darum nur in seltenen Fällen anwendbar. Bei unterschlächtigen Wasserrädern, bei welchen der Wasserstrom von unten her gegen die Schaufeln am Umfange des Rades trifft, ist man auf die Wirkung der Stoßkraft allein angewiesen. Man kann aber diese Wirkung in vielen Fällen dadurch erhöhen, daß man das Wasser zuvor durch ein Wehr anspannt und zum Fallen zwingt. Diese Kraftvermehrung kann sogar eine bedeutende werden. Bei einem Wasserstrome, dessen Querschnitt 30 □ Fuß und dessen mittlere Geschwindigkeit 6 Fuß in der Secunde beträgt, entspricht die Wirkungsfähigkeit der in jeder Secunde vorbeifließenden Wassermengen von 180 Kubikfuß oder 11,130 Pfund einer Wirkung von 20 Pferdekräften, wenn man annimmt, daß ein Pferd auf die Dauer eine Last von 550 Pfund in einer Secunde 1 Fuß hoch hebt. Wird aber der Strom durch ein Wehr angespannt, so daß diese Wassermasse noch 6 Fuß herabfallen muß, so steigert sich ihre Wirkung auf 120 Pferdekräfte. Ein Theil dieser Wirkung geht freilich verloren durch die Bewegung, welche die gestoßenen Schaufeln des Mühlrades selbst in gleicher Richtung haben. Nur dadurch, daß man die Fläche der Schaufeln etwas über den Querschnitt des stoßenden Wassers vergrößert und zugleich die Umfangsgeschwindigkeit des Rades nicht über die Hälfte der Geschwindigkeit des Wassers anwachsen läßt, kann man dieser nachtheiligen Schwächung der Wirkung etwas vorbeugen.

Der Stoß des Wassers kann jedoch noch in einer andern Weise wirkend gemacht werden, als durch den Fall gegen Radschaufeln, und dies wird namentlich da von Bedeutung, wo man es mit geringen Stromgeschwindigkeiten und geringen Wassermassen zu thun hat. Man ist nämlich im Stande, sich eine Kraft nutzbar zu machen, die sich sonst thatlos in dem Gefäße verbirgt, wenn sie nicht etwa einmal seine Wände krachend zersprengt. Das ist der Druck des Wassers auf die Wände des umschließenden Gefäßes. Dieser nach allen Seiten wirkende Druck verbirgt sein Dasein so lange, bis sein Gleichgewicht gestört, bis durch eine Oeffnung nach einer Seite hin dem drückenden Wasser ein freier Ausgang gestattet ist. Der Druck wird dann sofort ein einseitiger, nur gegen die der Oeffnung entgegengesetzte Wand gerichteter, und wenn das Gefäß irgend wie beweglich ist, so muß es diesem Drucke weichen, nach dieser Seite hin sich zu bewegen anfangen. Ein einfacher, um eine senkrechte Axe beweglicher Cylinder (Fig. 39, A), an dessen unterem Theile mehrere den Speichen eines Rades gleichende Ausflußröhren angebracht sind, veranschaulicht am besten diese Erscheinung. Die Ausflußröhren

haben ihre Oeffnung seitwärts, und die Bewegung des Cylinders geschieht daher in der den ausfließenden Wasserstrahlen entgegengesetzten Richtung. Das ist das sogenannte Segner'sche Wasserrad.

Fig. 39.



Die bewegende Kraft des Segner'schen Wasserrades ist aber viel zu gering, um es zum Betriebe von Mühlwerken anzuwenden. Seine Axe hat ja das ganze Gewicht des in den Cylinder strömenden Wassers zu tragen und zu bewegen. Aber auf dasselbe Grundgesetz, den Seitendruck ausfließenden Wassers, hat man eine andere Maschine gegründet, die jetzt eine der wichtigsten Rollen in der Benutzung der Wasserkraft spielt. Es ist die französische Turbine (Fig. 39, B). Sie besteht aus einer horizontalen gußeisernen Scheibe, auf deren Kranz gekrümmte Blechschaufeln aufgesetzt sind, die oben durch einen Blechring festgehalten und bedeckt werden. Durch diese gekrümmten Canäle (d d) fließt das am innern Umfange eintretende Wasser aus, nachdem es durch andere, von der Axe (a) ausgehende krumme Schaufeln (b) zu ihnen hingeleitet worden ist. Der Stoß des Wassers auf diese Schaufeln (d) treibt natürlich das Rad und mit ihm seine Axe um und überträgt dadurch seine Bewegung auf die Getriebe von Maschinen und Mühlen.

Der Gewichtsverlust fester Körper in Flüssigkeiten.

Jeder hat wohl schon die Erfahrung gemacht, daß ein gefüllter Eimer sehr leicht im Wasser hin und her bewegt werden kann, aber sehr

schwer außer dem Wasser getragen wird; daß ein großer Baumstamm im Wasser von einem einzelnen Menschen, auf dem Lande kaum von ein paar Pferden fortgezogen wird. Jeder hat wohl einmal einen Angler beobachtet, wie er vorsichtig die Angelschnur über die Fläche des Wassers emporzog, und wie dann doch oft noch die Last des Fisches sie zerriß. Jeder hat wohl den possierlichen Bemühungen eines Hundes zugesehen, wenn er in das Wasser tauchte, um einen Stein vom Grunde heraufzuholen, und wie er ihn immer wieder fallen lassen mußte, sobald er ihn über die Oberfläche des Wassers emporgebracht hatte. Alle diese Erscheinungen beruhen offenbar auf einem Gewichtsverluste, welchen alle Körper im Wasser erleiden.

In einer Flüssigkeit erfährt nämlich ein fester Körper ganz denselben Druck, wie die Flüssigkeitsmasse, deren Raum er einnimmt. Er verliert darum ebenso viel an Gewicht, als diese Flüssigkeitsmasse wiegt. Hat nun ein Körper genau dasselbe Gewicht, wie diese Flüssigkeit, so stört natürlich seine Anwesenheit das Gleichgewicht in der Flüssigkeit durchaus nicht. Hat er dagegen ein größeres Gewicht, so muß er in Folge und nach Maßgabe dieses Uebergewichts zu Boden sinken, freilich nicht mit derselben Kraft, mit welcher er in der Luft fallen würde. Hat er endlich ein geringeres Gewicht, so wird er von dem Drucke der Flüssigkeit aufwärts gehoben. Ein gefüllter Eimer hat in dem Wasser so gut wie gar kein Gewicht und kann selbst von einem Kinde darin bewegt werden. Ein Stein behält aber auch im Wasser noch ein Gewicht und sinkt daher auf den Grund.

Wenn der Gewichtsverlust eines Körpers im Wasser genau dem Gewichte der verdrängten Wassermasse entspricht, so ist darin ein Mittel gegeben, die Dichtigkeit der Körper durch Vergleichung zu bestimmen. Je mehr Masse ein gegebener Raum umschließt, desto größer ist das Gewicht des Körpers, welcher diesen Raum erfüllt, desto größer seine Dichtigkeit oder sein *specifisches Gewicht*, wie der Physiker sagt. Ueber einen je größeren Raum sich umgekehrt dieselbe Masse ausdehnt, desto geringer ist die Dichtigkeit oder das specifische Gewicht des Körpers. Man hat also nur entweder die verschiedenen Körper bei gleichem Rauminhalte zu wägen, oder bei gleichen Gewichten zu messen, um das Verhältniß ihrer Dichtigkeiten zu bestimmen. Dies gewährt nun das Eintauchen der Körper in Wasser, dessen Dichtigkeit deshalb zur Verhältnißeinheit gewählt ist.

Da ein Körper, wenn er in Wasser getaucht wird, genau so viel von seinem Gewichte verliert, als das Gewicht der seinem Rauminhalte

gleichen Menge Wasser beträgt, so braucht man nur diesen Gewichtsverlust mit dem Gewichte des Körpers in der Luft oder seinem absoluten Gewichte zu vergleichen, um sein specifisches Gewicht, seine Dichtigkeit zu erhalten. Wiegt z. B. ein Stück Kupfer in der Luft 270 Gran, im Wasser nur 240 Gran, hat es also im Wasser 30 Gran oder $^1/_9$ seines Gewichts verloren, so ist sein specifisches Gewicht = 9, d. h. das Kupfer ist 9mal so schwer oder so dicht als Wasser. Sollen solche Vergleichungen aber einen dauernden Werth haben, so muß die zu Grunde gelegte Maßeinheit eine unveränderliche, genau bestimmte sein. Das Wasser muß also stets von gleicher Reinheit und, da es bei verschiedenen Temperaturgraden auch verschiedene Dichtigkeiten annimmt, auch von gleicher Temperatur sein. Zu diesem Zwecke hat man das destillirte Wasser von 4° C. gewählt. Man ist nun im Stande, sämmtliche Körper in der Natur durch Wägen in Luft und Wasser nach ihren Dichtigkeiten zu vergleichen. Sollen Körper, die leichter als Wasser sind, eingetaucht werden, so muß zuvor der Druck des Wassers überwunden werden, der diesen Körper aufwärts drängt, und dieser Druck muß wieder dem Gewichte derselben Wassermenge entsprechen, welche der Körper aus der Stelle treibt. Um einen Kork vom Gewichte eines Viertel-Lothes unterzutauchen, muß man einen Druck von 1 Loth ausüben; das specifische Gewicht des Korks ist also etwa $^1/_4$ von dem des Wassers.

Folgendes sind die specifischen Gewichte einiger der bekanntesten festen Körper:

Gemünztes Platin .	22,10	gegossenes Zinn	7,29
gegossenes „ .	20,85	gegossenes Zink .	7,21
gehämmertes Gold	19,36	Diamant . .	3,50
gegossenes „	19,26	Marmor . .	2,84
Queckſilber . .	13,60	Kalkstein . .	2,70
Blei	11,44	Bouteillenglas .	2,64
gehämmertes Silber	10,62	Eis	0,93
gegossenes „ .	10,41	Buchsbaumholz	1,33
Kupfer	9,00	Eichenkernholz .	1,17
Stahl	7,80	Lindenholz . .	0,60
geschmiedetes Eisen	7,79	Pappelholz . .	0,38
gegossenes „ .	7,25	Kork	0,24

Das specifische Gewicht flüssiger Körper kann am besten dadurch bestimmt werden, daß man einen und denselben festen Körper in ver-

schiedene Flüssigkeiten eintaucht und die verschiedenen Gewichtsverluste, die er darin erleidet, mit einander vergleicht. Denn diese Gewichtsverluste zeigen die Gewichte gleicher Raummaße der verschiedenen Flüssigkeiten an und entsprechen darum deren Dichtigkeiten. Verliert ein Körper z. B. im Wasser 10 Gran, in Weingeist 8 Gran, in Rüböl 9 Gran, in Schwefelsäure $18^1/_2$ Gran, so beträgt das specifische Gewicht des Weingeistes $0{,}_8$, des Rüböls $0{,}_9$, der Schwefelsäure $1{,}_{85}$, die Dichtigkeit des Wassers wieder als Einheit angenommen.

Folgendes sind die specifischen Gewichte einiger der bekanntesten Flüssigkeiten:

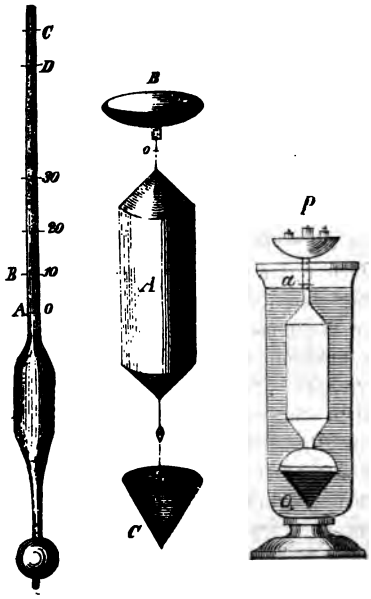
Rauchende Schwefelsäure	$1{,}_{85}$	Leinöl . . .	$0{,}_{94}$
concentrirte Salpetersäure	$1{,}_{50}$	Rüb- und Mohnöl	$0{,}_{92}$
Salzsäure	$1{,}_{20}$	Terpentinöl . .	$0{,}_{87}$
Milch	$1{,}_{03}$	Alkohol . . .	$0{,}_{79}$
Meerwasser . . .	$1{,}_{03}$	Schwefeläther .	$0{,}_{73}$

Auf dieser Verschiedenheit der Gewichtsverluste, welche ein Körper beim Eintauchen in Flüssigkeiten von verschiedener Dichtigkeit erleidet, beruht nun auch das Verfahren des Bierbrauers und Branntweinbrenners, wenn er seine Senkwage in die Flüssigkeiten taucht, um ihre Dichtigkeit und damit auch ihre Güte zu prüfen. Eine Senkwage oder ein Aräometer, d. h. Dichtigkeitsmesser, ist in der einfachsten Gestalt (Fig. 40, 1) eine in der Mitte etwas bauchig erweiterte Glasröhre, welche unten durch eine mit Queckſilber gefüllte Kugel beschwert ist, so daß sie senkrecht einsinken kann. Je weniger dicht eine Flüssigkeit ist, desto tiefer wird natürlich dieses Instrument darin einsinken. In der dichtesten Flüssigkeit wird es etwa bis A, in der leichtesten bis C eintauchen. Die verschiedene Tiefe dieses Einsinkens zeigt also verschiedene Raummengen von Flüssigkeiten bei gleichem Gewichte an. Das umgekehrte Verhältniß dieser Raummengen ergiebt daher das Verhältniß der Dichtigkeiten. Im praktischen Leben wird dieses einfache Instrument sehr vielfach angewandt. Gewöhnlich ist es dann für irgend eine bestimmte Flüssigkeit allein eingerichtet, also eine Soolwage, eine Laugenwage, eine Bierwage, ein Milchmesser, ein Alkoholometer ꝛc. Auf der Scale pflegt dann zugleich angegeben zu sein, wie viele Theile des wirksamen Bestandtheiles erfahrungsgemäß die Flüssigkeit enthält, wenn die Senkwage bis zu diesem oder jenem Punkte der Theilung einsinkt. Natürlich hängt es dann von der Beschaffenheit dieses Bestandtheiles ab, ob die Senkwage mit zunehmender Güte der Flüssig-

keit tiefer sinken oder höher steigen soll. In Salzlösungen und Säuren z. B. wird die Senkwage um so höher steigen müssen, je reicher an Salz oder Säure die Flüssigkeiten sind; bei Branntwein und alkoholischen Flüssigkeiten muß sie dagegen um so tiefer sinken, je besser sie sind.

Da die Senkwage die Bestimmung der Dichtigkeiten nur durch eine Vergleichung verschiedener Raummengen einer Flüssigkeit bei gleichem Gewichte gestattet, so kann sie niemals ganz genau sein. Denn die Größe des eingesunkenen Körpers wird ja immer beträchtlicher, je leichter die Flüssigkeit ist, und die gleichen Räume der Theilung können nicht mehr gleichen Unterschieden der Dichtigkeit entsprechen. Eine genaue Vergleichung der Dichtigkeiten ist darum nur durch solche Senkwagen möglich, welche gleiche Raummengen verschiedener Flüssigkeiten durch verschiedene Gewichte messen. Eine solche ist der Flüssigkeitsmesser von Nicholson (Fig. 40, 2). Es ist ein hohler, kegelförmig zugespitzter Blechcylinder A, der oben durch einen Draht an eine hohle Schale B befestigt ist und unten an einem andern Drahte eine zweite Schale und einen mit Blei ausgegossenen Kegel C trägt, welcher das ganze Instrument zwingt, aufrecht in der Flüssigkeit zu schwimmen. Durch oben aufgelegte Gewichte P (Fig. 40, 3) zwingt man nun das Instrument, in den verschiedenen Flüssigkeiten bis zu einem bestimmten Punkte a einzutauchen. Kennt man nun das Gewicht des Instrumentes selbst, so erfährt man durch die zum Eintauchen erforderlichen Gewichte jedesmal das Gewicht der gleichen Raummenge der verschiedenen Flüssigkeiten, und erhält dann durch Vergleichung desselben mit dem Gewichte der gleichen Wassermenge die specifischen

Fig. 40.



Gewichte der Flüssigkeiten. Wiegt das Instrument selbst z. B. 70 Gran, und erfordert es zum Eintauchen in Wasser bis zum Punkte a noch 30 Gran, so wiegt das verdrängte Wasser 100 Gran. Muß man aber, um dasselbe Eintauchen in Bier oder in Milch zu bewirken, 33 Gran, in Rheinwein dagegen nur 28 Gran auf die obere Schale legen, so beträgt das Gewicht derselben Menge Bier oder Milch 103, derselben Menge Rheinwein 98 Gran. Das specifische Gewicht von Bier oder Milch ist daher $1_{,03}$, das des Rheinweins $0_{,98}$.

So einfach und selbstverständlich diese Instrumente und ihr Gebrauch uns jetzt erscheinen, so war es doch vorzugsweise gerade die Entdeckung der Thatsachen, welche ihnen zu Grunde liegen, die einst den unsterblichen Ruhm eines der größten Mathematiker des Alterthums begründete, des Archimedes, der zur Zeit des Tyrannen Dionysius von Syrakus im 3. Jahrh. v. Chr. lebte. Eine goldene Krone, welche ein Künstler zum Schmucke einer Götterstatue verfertigt hatte, erweckte den Verdacht, daß sie verfälscht, nicht aus dem reinen, dem Künstler anvertrauten Golde gefertigt sei, und Archimedes ward zur Entscheidung aufgefordert. Die einfache Beobachtung, daß sein Körper im Bade durch das Wasser gehoben wurde, leitete, wie erzählt wird, diesen Mann zu einer der wichtigsten Entdeckungen. Er sah sich dadurch veranlaßt, aus den Gewichtsverlusten der Körper im Wasser auf ihre Dichtigkeit und damit auch auf die Natur der verschieden dichten Metalle selbst in ihrer Zusammensetzung zu schließen. Noch heute wendet man diese Bestimmung der Dichtigkeiten an, um den Gehalt von Metallmischungen zu erkennen, um Gold von Tombak oder mit Kupfer und Silber versetztem Golde, reines Zinn von mit Blei gemischtem zu unterscheiden. Der Mineralog benutzt noch heute dies Verfahren, um die Natur eines Minerals festzustellen. Freilich treten auch hier bisweilen Schwierigkeiten entgegen, die zu manchen Täuschungen führen können. Die Stoffe, welche in ihrer Zusammensetzung oft zugleich chemische Verbindungen mit einander eingehen, erleiden dadurch auch Aenderungen in ihrer Dichtigkeit, eine Zusammenziehung oder Ausdehnung, und es kann daraus leicht ein falsches Urtheil über das Verhältniß der Bestandtheile in der Mischung hervorgehen.

Eine allgemein bekannte Folge des Gewichtsverlustes fester Körper in Flüssigkeiten ist die Erscheinung des Schwimmens. Natürlich schwimmen nur solche Körper, welche leichter sind, als die von ihnen verdrängte Flüssigkeitsmenge. Denn nur dann wird der Druck des schweren Körpers nach unten von dem Drucke der Flüssigkeit nach

oben überwogen. Damit ein schwimmender Körper das Gleichgewicht in der Flüssigkeit behauptet, ist ferner erforderlich, daß sein Schwerpunkt senkrecht unter dem Schwerpunkte der verdrängten Flüssigkeit liegt. Das Gleichgewicht ist um so sicherer und beständiger, je tiefer dieser Schwerpunkt liegt. Der Punkt, welcher die Grenze der Sicherheit bezeichnet, kann gefunden werden, wenn man die Lage des Körpers ein wenig verändert. Sein Schwerpunkt bleibt dann zwar derselbe, aber die Richtung des aufwärts wirkenden Flüssigkeitsdruckes braucht ihn nicht mehr zu treffen, sondern kann die frühere Schwerlinie in einem andern Punkte schneiden. Träfe sie ihn wirklich noch, fiele also der Schwerpunkt des schwimmenden Körpers mit dem des verdrängten Flüssigkeitskörpers zusammen, so würde nichts das Gleichgewicht dieses Körpers zu stören vermögen; er würde in jeder beliebigen Lage sich im Gleichgewichte befinden, da stets die beiden gegen einander wirkenden Kräfte von unten und oben einander aufheben würden. Liegt dagegen der Schwerpunkt des schwimmenden Körpers unter jenem Durchschnittspunkte der beiden von oben und unten drückenden Kräfte, so wird der Körper aus seiner gezwungenen Lage nach der Seite des Schwerpunktes hin zu fallen streben und allmälig in die frühere Lage zurückkehren. Liegt der Schwerpunkt endlich über jenem Punkte, so kann das Gleichgewicht nur durch ein völliges Umschlagen des Körpers, das seinen Schwerpunkt wieder unter den Schwerpunkt der verdrängten Flüssigkeitsmasse bringt, hergestellt werden. Jener Durchschnittspunkt der Schwerlinie mit der Richtung des Wasserdruckes ist also der Grenzpunkt des sicheren Gleichgewichts, der *Umfallspunkt* oder das *Metacentrum*, wie ihn der Physiker nennt.

Die Lage des Schwerpunktes richtig zu bestimmen, ist von besonderer Wichtigkeit beim Bau und bei der Belastung von Schiffen. Der Ballast, mit welchem man die untersten Räume der Schiffe ausfüllt, trägt sehr viel zu ihrer Sicherheit bei, weil er ihren Schwerpunkt tiefer hinabrückt. Die Tragfähigkeit eines Schiffes hängt natürlich nicht allein von seinem Rauminhalte, sondern auch von dem Gewichte, also auch von der Dichtigkeit des Wassers ab, dessen Raum es einnimmt. Auf dem salzhaltigen, darum dichteren Seewasser vermag ein Schiff größere Lasten zu tragen, als auf dem leichteren Flußwasser. Ein Schiff, dessen Raum 5000 Kubikfuß umfaßt, das also auf dem Meere 3200 Ctr. zu tragen vermag, würde auf Flüssen 100 Ctr. weniger tragen.

Nach dem Naturgesetze schwimmen nur Körper, die leichter sind,

als die Flüssigkeiten, in welche sie getaucht sind. Sollen schwerere Körper schwimmend erhalten werden, so muß man sie entweder mit leichteren so verbinden, daß ihre eigene Schwere dadurch ausgeglichen wird, oder sie müssen hohl gemacht werden, so daß die Luft, welche sie umschließen, die Ausgleichung bewirkt. Daß man eiserne und kupferne Schiffe bauen und diese überdies mit Steinen belasten kann, ist dadurch erklärlich. Das Schwimmen fein zertheilter schwerer Körper, wie der Sandkörner in dem vom Regen angeschwellten Bache, ist nur ein scheinbares. Die Sand- und Erdtheilchen sind so klein, daß sie dem Drucke des Wassers nicht widerstehen können und von seiner Bewegung fortgerissen werden, ehe sie den Boden erreichen. Gleichwohl fallen sie, und zwar um so schneller, je schwerer sie sind. Die angeschwemmten geschichteten Ufer des Baches beweisen das durch die feinen, mit einander wechselnden Schichten von schwerem Kiessand, Thon und leichter Humuserde. Sie deuten darin zugleich dem Landwirthe den Weg an, auf welchem er die Bestandtheile seines Ackers kennen lernen kann. Er ist nämlich im Stande, durch Schlemmen die leichteren Thon- und Kalktheile des Bodens von dem schwereren Sande abzuscheiden und dadurch ihr Verhältniß annähernd zu bestimmen. In ähnlicher Weise scheidet auch der Hüttenarbeiter die leichteren Gesteintheile von den schwereren, metallführenden Erzen, und die Gold- und Diamantenwäscher verfahren nicht anders bei der Gewinnung ihrer kostbaren Schätze. Jede Trübung einer Flüssigkeit, selbst manche Färbung beruht also auf der Anwesenheit fein zertheilter fester Stoffe, die sich in der Ruhe oft erst nach langer Zeit absetzen, durch Filtriren aber sehr schnell abgeschieden werden können.

Der menschliche Körper unterscheidet sich in Betreff seines specifischen Gewichtes nur wenig von dem des Wassers. Man muß daher in den meisten Fällen künstliche Bewegungen anwenden, um den Widerstand des Wassers so zu vermehren, daß wenigstens die Athmungsorgane bleibend über der Wasserfläche erhalten werden. Die meisten Menschen sind etwas leichter als das Flußwasser, etwa um $^1/_9$ oder $^1/_{10}$. Sie können sich daher, auf dem Rücken im Wasser liegend, mit über dem Kopfe zusammengeschlagenen Armen und gespreizten Beinen ohne die geringste Bewegung an der Oberfläche des Wassers erhalten. In jeder andern Lage freilich würde das Gesicht unter das Wasser tauchen, wenn es nicht durch die bekannten Schwimmbewegungen der Hände und Füße darüber erhoben würde. Das größte Gewicht unter den Theilen des Körpers haben Arme, Beine und Kopf, wie überhaupt

die Knochenmasse das Gewicht vermehrt, während die Fettmasse es vermindert. Daß die Beine ein Uebergewicht über den übrigen Körper behaupten, sehen wir schon daraus, daß wir beim Einsinken in das Wasser immer die aufrechte Stellung behaupten. Das geringste Gewicht kommt der Brust zu wegen der Höhlung, die sie umschließt. Jedes Ein- und Ausathmen, da es mit einer abwechselnden Erweiterung und Verengung der Brusthöhle verbunden ist, bedingt darum auch ein wechselndes Heben und Sinken des Körpers. Die meisten Menschen würden immer nur bis zur Nase im Wasser einsinken und darum durch Zurücklegen des Kopfes leicht im Stande sein, Mund und Nase über dem Wasser zu erhalten, wenn sie nicht in der Besinnungslosigkeit der Angst gewöhnlich selbst ihre Rettung vereitelten, indem sie die Arme über das Wasser emporstrecken und dadurch den Kopf zwingen zur Wiederherstellung des Gleichgewichts unterzutauchen. Man ist aber auch im Stande, diese Schwimmbewegungen, zu denen immer ein gewisser Grad von Besonnenheit und Geistesruhe gehört, in anderer Weise zu ersetzen. Man kann nämlich das Gewicht des Körpers durch Verbindung mit leichten oder hohlen Körpern verringern, durch Blasen, Korkgürtel, lufterfüllte Schwimmkleider, aufgeblasene Kissen oder Bänke von Guttapercha u. s. w., die bei Schiffbrüchen in der That oft vortreffliche Dienste leisten. Der Fisch selbst trägt ein solches Schwimmmittel in seinem Innern: die lufterfüllte Schwimmblase längs seines Rückgrates. Seine Flossen dienen ihm vorzugsweise nur noch, die Bewegung nach allen Richtungen vorwärts und in die Tiefe zu steuern. Der thierische Leichnam, wenn er in Fäulniß geräth, füllt sich gleichfalls im Innern mit den specifisch sehr leichten Gasen der Zersetzung und steigt daher an die Oberfläche, bis er bei fortschreitender Verwesung berstet und, wieder vom Wasser erfüllt, für immer in die Tiefe versinkt.

Die Adhäsions- und Cohäsionserscheinungen der Flüssigkeiten.

Es ist eine bekannte Thatsache, daß ein Tropfen Wasser, den man auf eine Glasscheibe fallen läßt, darauf zerfließt; daß Wasser, welches man aus einem weiten Glase ausgießen will, an seiner Außenseite herabfließt. Es zeigt sich hierin eine gewisse Anziehungskraft fester Körper bei ihrer Berührung mit Wasser. Dagegen giebt es wieder andere Körper, welche diese Anziehung aufzuheben vermögen.

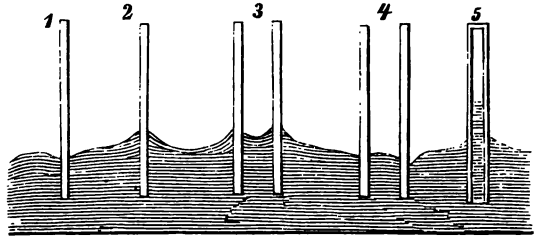
Wenn man nämlich die Glasplatte mit einer dünnen Wachs- oder Oelschicht oder nur mit dem allerdünnsten Fetthäutchen überzieht, wenn man also nur etwa mit dem stets fettigen Finger darüber hinstreicht, so haftet das Wasser nicht mehr darauf, der Tropfen zerfließt nicht, sondern bleibt darauf stehen. Aus einem Glase, dessen Rand mit Fett bestrichen ist, kann man darum das Wasser ausgießen, ohne etwas zu verschütten. Es besteht aber nicht blos eine solche Art von Verwandtschaft zwischen flüssigen Körpern und festen, sondern auch für verschiedene Flüssigkeiten unter einander. Wie zwei Tropfen Wasser, so fließt auch ein Tropfen Wasser mit einem Tropfen Weingeist, ein Tropfen Queckſilber mit einem Tropfen geschmolzenen Zinns zusammen. Wasser- und Oeltropfen dagegen, Queckſilber- und Wassertropfen bleiben einander durchaus fern. Es ist eine Verwandtschaft, die jedenfalls mit dem innern Wesen der Stoffe, mit ihrer chemischen Verwandtschaft in einem gewissen Zusammenhange steht, wenn auch die letztere nicht immer zur wirklichen Erscheinung kommen kann.

Diese eigenthümliche Anziehung, auf welcher eine Menge von Erscheinungen des gewöhnlichen Lebens, unsere Vergoldung und Spiegelbelegung, alles Kitten und Leimen, alles Drucken und Zeichnen und Schreiben, beruhen, ist die Aeußerung einer Kraft, welche zwischen allen sich berührenden Körpern in größerem oder geringerem Grade thätig ist, der sogenannten Adhäsion. Hier aber tritt sie uns zugleich im Kampfe mit einer andern Kraft, der innern Zusammenhangskraft der Flüssigkeiten, der Cohäsion, entgegen. Nach jedem Regen kann man sehen, wie auf den Blättern der Bäume und Sträucher noch die hangengebliebenen Tropfen funkeln, während sie auf den Steinen in einander geflossen sind und ihre ganze Fläche befeuchtet haben. Dort hat die Cohäsionskraft des Wassers, hier die Adhäsionskraft des Steines gesiegt. Daß es wirklich Kräfte sind, die hier eine Rolle spielen, und die einen gewissen Widerstand zu ihrer Besiegung erfordern, zeigt ein einfacher Versuch. Man lege ein glattes Brett auf die Oberfläche des Wassers und versuche nun, es in derselben horizontalen Lage wieder davon zu entfernen. Nur mit einer gewissen Anstrengung wird es gelingen, und wenn man es losgerissen, wird man sehen, daß sogar ein Theil der Flüssigkeit mit in die Höhe gehoben ist. Die Adhäsion des Wassers zum Brette war also größer, als die innere Zusammenhangskraft seiner Theile.

Am einfachsten treten diese Anziehungserscheinungen auf, wenn man Glasplatten senkrecht in Wasser taucht. Ist eine solche Platte

mit einer ganz dünnen Fetthaut überzogen, so sieht man daran das Wasser etwas einsinken (1), und diese Platte selbst trocken bleiben. War dagegen die Glasplatte völlig rein, so steigt daran das Wasser empor (2), und die Platte zeigt sich benetzt. An jener siegte also die Cohäsion des Wassers, an dieser die Adhäsion. Nimmt man zwei völlig reine Glasplatten und taucht sie in geringer Entfernung von einander in das Wasser, so steigt das Wasser zwischen ihnen etwas empor und bildet eine einwärts gekrümmte Oberfläche (3). Taucht man zwei andere, mit einem Fetthäutchen überzogene Glasplatten ein, so zieht sich das Wasser zwischen ihnen, je mehr sie genähert werden, desto mehr in die Tiefe zurück und bildet eine aufwärts gewölbte Oberfläche (4). Ganz dasselbe würde eintreffen, wenn man statt des Was-

Fig. 41.

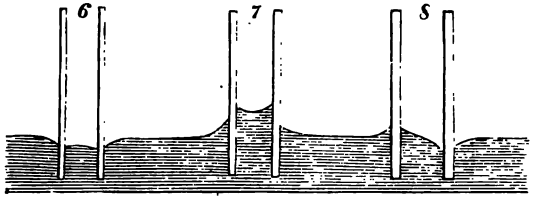


sers Quecksilber gewählt hätte; man würde es zwischen zwei Glasplatten sinken, zwischen zwei Zinnplatten dagegen steigen sehen. Die kleinen durch die beiden Platten wachgerufenen Kräfte der Adhäsion und Cohäsion unterstützen einander und verstärken die Erscheinung. Am bedeutendsten muß darum das Steigen und Sinken von Flüssigkeiten sich in engen Röhren (5) zeigen, da hier jeder Punkt der innern Wand dahin wirkt, die Erscheinung hervorzubringen. Man nennt sie darum auch ganz allgemein Haarröhrchen- oder Capillar-Anziehung.

Was aber für Glasröhren und Glasscheiben gilt, wird in gewissen Grenzen auf jeden Körper, der eine Flüssigkeit berührt, bezogen werden müssen. Es wird eine Erhebung oder Vertiefung stattfinden, je nachdem der Körper von ihr benetzt wird oder nicht. Auch die Wasserspinne oder der Schwimmkäfer, wenn er über die Oberfläche des Wassers hingleitet, zwingt das Wasser, unter ihm auszuweichen, weil sein Körper gegen die Benetzung gesichert ist, gerade so, wie der

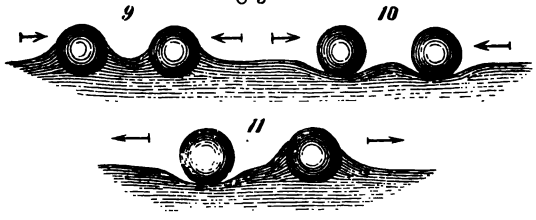
untertauchende Wasservogel durch das Fett seiner Federn. Ohne diesen Schutz würde der Wasserkäfer gerade so, wie jedes andere Insect, in die Fluth einsinken, die ihn benetzte. Selbst der leichte Staub, der zarte Bärlappsamen, den wir auf eine Flüssigkeit streuen, bringt eine solche Erscheinung hervor. Zugleich flieht er in auffallender Weise aus einander und breitet sich nach allen Richtungen auf der Flüssigkeitsfläche aus, als ob eine geheime Kraft ihm Bewegung ertheilte. Doch nur die Krümmung der Flüssigkeitsfläche ist die Ursache dieser Bewegung und muß es überall werden, wo die von der Flüssigkeit berührten Körper, gleichviel ob sie benetzt oder nicht benetzt sind, einer solchen

Fig. 42.



fähig sind. Zwei Glasplatten, die man an Fäden frei in das Wasser hängt, nähern sich einander, sobald sie überhaupt einander so nahe gebracht werden, daß das Wasser zwischen ihnen keine Ebene mehr bildet, mögen sie nun beide gleich rein (6 in Fig. 42), oder beide gleich fettig (7) sein, mögen sie also beide ein Sinken (6), oder beide ein Aufsteigen (7) des Wassers bewirken. Ist dagegen die eine Glasplatte rein, die andere fettig (8), und steigt also das Wasser an der einen

Fig. 43.



auf, während es an der andern sinkt, so stoßen sie bei genügender Annäherung einander ab. Kleine Kugeln, die auf dem Wasser schwimmen, zeigen dieselben Erscheinungen des Anziehens und Abstoßens. Zwei Korkkugeln, die von dem Wasser benetzt werden (9 in Fig. 43), oder

zwei Wachskugeln, die nicht vom Wasser benetzt werden (10), ziehen einander an, wenn sie in die gehörige Nähe kommen, während eine Korkkugel und eine Wachskugel (11) einander auf das Lebhafteste abstoßen.

Man könnte sich leicht versucht fühlen, in diesen auffallenden Capillarerscheinungen die Wirkungen neuer besonderer Kräfte in den Körpern zu sehen. Aber wie überall in der Natur, geht auch hier die Mannigfaltigkeit der Erscheinungen weniger aus einer Vielheit und Neuheit wirkender Kräfte hervor, als aus der Abhängigkeit der Wirkungsweise weniger bekannter Kräfte von Verhältnissen und Bedingungen. Das scheinbare Wunder erklärt sich uns auch hier als Ausfluß einer bekannten Thätigkeit, derselben, welche den Tropfen und die Blase bildet, nur abgeändert und entstellt durch den Einfluß der engen Räume und der Anziehungen fester Körper.

Jede Flüssigkeitsmasse, wenn sie, ringsum frei, sich selbst überlassen bleibt, muß, wie oben nachgewiesen, um ihr inneres Gleichgewicht zu behaupten, die Kugelgestalt annehmen. Sie muß es sogar, wenn ihr Inneres von Luft erfüllt ist, und das Bläschen ist darum gleichfalls ein Tropfen, wenn man es auch fast einen negativen nennen möchte. Das Wesen des Tropfens beruht ja in dem gleichförmigen Drucke aller Oberflächentheile gegen das Innere, gleichsam in einem Netzwerke drückender Atome oder einer Flüssigkeitshaut, welche die innere Masse zusammenhält. Daß dieser Druck bei der Blase stattfindet, zeigt uns die einfache Seifenblase, die wir als Kinder aus dem thönernen Pfeifenröhrchen bliesen. Hielten wir die Oeffnung des Röhrchens zu, so konnten wir die Blase lange in ihrer Größe erhalten; öffneten wir sie, so verkleinerte sich allmälig die Blase unter dem Drucke ihrer Flüssigkeitshaut.

Dieses Streben nach der Kugelgestalt, nach der eigenen Begrenzung, mit andern Worten, dieser Druck der Flüssigkeit nach innen muß auch dann der Flüssigkeit bleiben, wenn sie in großen, zusammenhängenden Massen auftritt, wenn sie von den Wänden der Gefäße oder von eingetauchten Körpern begrenzt wird, wiewohl das Dazwischentreten anderer Wirkungen, wie vor Allem der ebnenden Schwere, die Erscheinung unserm Auge verdecken kann. Wenn auch ebene Flächen ringsum die Flüssigkeit begrenzen, sie kann doch nirgends an ihrer Oberfläche scharfe Kanten bilden, da die Spannung ihrer Theile sie abzurunden streben muß. So sucht sich auch die Flüssigkeit in einem Gefäße stets der Tropfengestalt wenigstens anzunähern. Findet nun

keine Anziehung zwischen der Flüssigkeit und den Gefäßwänden statt, wie zwischen Quecksilber und Glas, zwischen Wasser und fettigen Körpern, so kann auch die obere Fläche der Flüssigkeit nicht genau bis an die Wand reichen; ihre obere Kante ist ja abgerundet. Ist das Gefäß daher eng, so bildet diese Oberfläche eine Wölbung nach oben. Ein Quecksilbertropfen in einem liegenden Glasröhrchen bildet einen an beiden Enden abgerundeten Cylinder, gleichsam einen in die Länge gezogenen Tropfen. Findet dagegen eine Anziehung zwischen Wand und Flüssigkeit statt, oder wird die Wand benetzt, wie das Glas vom Wasser, so bildet die Wand gleichsam nur eine Fortsetzung der Flüssigkeit, und die Abrundung der scharfen Kante kann nun nicht mehr nach unten, sondern nur nach oben stattfinden. Das Wasser beginnt gleichsam nach oben eine Blase zu bilden, und seine Oberfläche wölbt sich in engen Gefäßen hohl. Stets also, wenn ein fester Körper mit einer Flüssigkeit in Berührung tritt, macht sich das im Wesen der Flüssigkeit begründete Streben nach Tropfen- oder Blasenbildung geltend. Nur pflegen wir die Wirkungen dieses Strebens erst da als Erscheinungen der Capillarität aufzufassen, wo sie auffallend werden.

Daß die Capillar- oder Haarröhrchen-Anziehung in den alltäglichsten Erscheinungen der uns umgebenden Welt uns entgegentreten muß, ist jetzt begreiflich. Nicht allein sind überall flüssige und feste Körper in Berührung, überall sind auch jene feinen Zwischenräume, jene Poren, Spalten und Haarröhrchen vorhanden, welche die Erscheinung so auffallend verstärken. Alles um uns, unsere Kleider, unser Papier, das Holz, die Steine, der Erdboden, die Pflanzen, selbst unser eigener Körper ist voll von solchen Zwischenräumen, in die das Wasser und jede andere Flüssigkeit eindringen und aufsteigen kann. In unsern Mauern steigt das Wasser aus dem feuchten Grunde in die Höhe und durchfeuchtet sie. Unsere Kleider, unsere Stiefeln oder Schuhe werden vom Regen durchnäßt. Wir können uns gegen diese von allen Seiten hereindringende Feuchtigkeit nur schützen, wenn wir solche Gegenstände mit Oel tränken, mit Fetten oder Harzen überziehen und so entweder ihre Poren verschließen oder sie vor der Benetzung bewahren. Aber wir benutzen andererseits auch wieder täglich und tausendfach diese Erscheinung, um die Bewegung von Flüssigkeiten nach unserm Belieben zu lenken. Das Aufsteigen des Oels oder des flüssigen Talgs im Dochte der Lampen und Lichter beruht auf dieser Haarröhrchenkraft. Das Entfernen von Fettflecken aus Zeugen durch aufgelegten mageren Thon, das Walken der Tuche durch Walkerde, das Reinigen des

Zuckers durch Deckung mit nassem Thon, dessen Wasser durch die feinen Poren des Zuckers sickert und den braunen Syrup mit hinwegnimmt, alles das beruht auf derselben Erscheinung. Einst richtete man in Rom durch diese so unscheinbare Kraft einen mächtigen Obelisken auf, für dessen Hebung alle künstlichen Hebel und Rollen den Dienst versagten. Die Verkürzung der angefeuchteten Taue hob die ungeheuere Last.

Endosmose.

In dem großen Haushalte der Natur sind es oft gerade die kleinen, im menschlichen Schaffen unbeachteten Kräfte, welche die großartigsten Erscheinungen hervorrufen. So ruht auch gleichsam in der freien Tropfenbildung des flüssigen Elements der Urquell der Zeugung, des lebenschaffenden Stoffwechsels. Tausende zarter Röhrchen, zarter, als alle Kunst sie zu schaffen vermag, durchziehen die Pflanze und den thierischen Leib. Durch sie geht der Strom der nährenden Säfte, durch sie vollendet sich der Kreislauf des Blutes, durch sie dringt die sauerstoffreiche Luft der Lungen belebend zum Blute. Aber in diesem natürlichen Strömen und Bewegen tritt uns eine wunderbare Erscheinung entgegen, die bis in unser Jahrhundert selbst dem Auge des Forschers entgangen ist.

Der Rosenstock am Fenster, der noch eben traurig seine Blätter und Blüthen hängen ließ, erhebt sich plötzlich, von der pflegenden Hand getränkt, strotzend von der Fülle des Lebensstromes. Wunderbar schnell drang das Wasser aus dem Boden in seine zarten Canäle hinauf. Aber durch welche Oeffnungen fand die Flüssigkeit ihren Eingang? Die Pflanze erscheint uns als ein völlig geschlossenes Ganze, gerade wie der thierische Leib. In den Gefäßen ihrer Wurzelfasern oder ihrer Blätter hat der Forscher noch so wenig Oeffnungen zu entdecken vermocht, wie in den letzten feinen Verzweigungen der Blutarterien und Venen oder der Luftröhrchen. Damit würde freilich noch nicht bewiesen sein, daß solche Oeffnungen überhaupt nicht vorhanden sind, sondern nur, daß sie so fein sind, daß das menschliche Auge mit allen seinen bisherigen künstlichen Hülfsmitteln sie nicht zu entdecken vermag. Aber das ist nicht das einzige Geheimnißvolle in dieser Erscheinung. Füllt man eine thierische Blase mit rothem Wein und legt sie in Wasser, so wird man erwarten, daß, wenn überhaupt Oeffnungen vorhanden sind, die einen Verkehr zwischen Wein und Wasser gestatten,

diese Flüssigkeiten sich allmälig auch vollkommen mit einander vermischen werden. Dies geschieht ja, wenn wir in einem Glase Wein und Wasser über einander schichten, und zwar in Folge einer eigenthümlichen Verwandtschaft zwischen beiden Flüssigkeiten, welche sie die Verschiedenheit ihrer specifischen Gewichte überwinden läßt. Aber hier in der Blase geschieht noch mehr. Das Wasser im Gefäße zeigt sich zwar bald vom Weine gefärbt; aber zugleich ist die Blase angeschwollen, als wolle sie bersten. Zu ihr muß also mehr Wasser eingedrungen sein, als Wein aus ihr herausdrang. Die Blase muß also die Ursache zu einer völligen Veränderung in der Mischung der Flüssigkeiten geworden sein, einen stärkeren Strom von der einen zur andern, als umgekehrt, bewirkt haben.

Wir stehen hier vor jener seltsamen Naturerscheinung, welche der Physiker Endosmose nennt. So oft zwei Flüssigkeiten von verschiedener Dichtigkeit und verschiedener chemischer Natur durch eine für den gewöhnlichen Anschein nicht poröse Wand, sei es eine thierische oder menschliche Membran, eine Blase, ein Darmstück, eine Kautschuck- oder selbst eine Gyps- und Thonplatte, von einander geschieden sind, so findet eine doppelte Strömung der Flüssigkeiten zu einander statt, und zwar ist die stärkere Strömung gewöhnlich von der dünneren zur dichteren Flüssigkeit gerichtet, also vom Wasser zu Salz- oder Zuckerlösungen. Oft ist aber auch die Richtung dieser Strömung durch die stoffliche Natur der Scheidewand bedingt. So dringt der Alkohol wohl durch ein dünnes Kautschuckblättchen, aber nicht durch eine thierische Blase. Wird also eine Mischung von Weingeist und Wasser in einer thierischen Blase der warmen Luft ausgesetzt, so verdunstet nur das Wasser, während in der Blase ein concentrirter Weingeist zurückbleibt.

Wenn eine mit Wasser gefüllte Blase auf der einen Seite beständig von einer Flüssigkeit, etwa einer Salz- oder Zuckerlösung benetzt, auf der andern aber frei von der Luft bespült wird, so verdunstet ihre innere Feuchtigkeit zwar beständig an der Außenfläche, wird aber zugleich wieder durch den Zutritt von Flüssigkeit von der andern Seite ersetzt. So entsteht eine Bewegung der Flüssigkeit gegen die verdunstende Oberfläche und mit ihrer allmäligen Verminderung zugleich ein wachsender Druck gegen die Blase, der die Flüssigkeit von außen in den innern Raum der Blase hineintreibt.

Diese einfachen Vorgänge, die an sich nur für den Forschergeist des Menschen und seine unermüdlich nach Gesetzen grübelnde Wissenschaft eine Bedeutung zu haben scheint, spielen im Haushalte der Natur

eine großartige Rolle. Sie schaffen hier im Stillen das große Geheimniß des Lebens, das wunderbare Wachsthum des Thier- und Pflanzenleibes. Denn nur aus Flüssigem nährt sich der Organismus, und auch die festen Speisen des Thieres müssen erst in Flüssigkeiten sich umwandeln, ehe sie geschickt werden, seine Organe aufzubauen. Ob diese Flüssigkeiten unmittelbar von außen an die zarten Zellen und Röhrchen der Pflanzen herantreten, oder ob sie im Innern des Thierleibes erst die feinen Endröhrchen der Venen finden, von denen sie aufgesogen werden, ist am Ende gleichgültig.

So einfach und natürlich es erscheint, daß die welkende Pflanzenwelt sich unter dem segnenden Thau des Himmels wieder emporrichtet, so mannigfache und verwickelte Vorgänge setzt doch diese Erscheinung voraus. Die Wasser des Oceans sind es, die, in unsichtbaren Dünsten zum Himmel emporgestiegen, in Gestalt von Thau, Nebel und Regen zur Erde wiederkehren und in die feinen Zwischenräume und Poren des Bodens eindringen, um die durstige Pflanzenwelt zu erquicken. Von den Gesteinen des Bodens her mit kleinen Mengen von Kohlensäure, Ammoniak und mancherlei Salzen beladen, kommt dieses Wasser mit den äußersten Zellen der Pflanzen in Berührung, die von ganz anderen Säften und mit concentrirteren Flüssigkeiten erfüllt sind. Keinen Augenblick können nun diese ungleichartigen Flüssigkeiten neben einander bestehen, ohne auf einander einzuwirken, ohne eine Strömung in der einen oder andern Richtung. Die dünne Nahrungsflüssigkeit dringt mit Begier in die Zellen ein, wie das Wasser in die mit Wein oder Zuckerlösung gefüllte Blase. Aber nicht die Aufnahme der Säfte allein, auch ihre weitere Verbreitung durch die Organe der Pflanze geschieht in dieser Weise. Die Pflanze besteht gleichsam aus lauter solchen Saugapparaten, aus Zellen, die mit Flüssigkeiten von verschiedener Natur und verschiedenen Sättigungsgraden erfüllt sind. Vor allen sind es die jungen, eben in Entwickelung begriffenen Zellen, in denen sich die dichtesten Flüssigkeiten, die eiweißartigen, am meisten finden. Dahin also muß vorzugsweise der Saftstrom gerichtet sein. Aber mit dieser Richtung des Saftstroms hängt auch zugleich die Ausbildung, das Wachsthum der Zellen zusammen. Denn in derselben Richtung muß auch ihre Ernährung kräftiger werden, und so muß die anfangs [illegible] Zelle sich verlängern. Selbst die Gestalt der Zellen und [illegible] nimmt also in dem Saftstrome ihren Ursprung. Hängt aber [illegible] Seite die Ernährung und das Wachsthum der Pflanze [illegible] der Eigenschaft der Zellenmembran ab, für wässerige Flüssigkeiten

durchdringlich zu sein, ohne von denselben aufgelöst und verflüchtigt zu werden, so ist auf der andern Seite diese Mittheilung von Zelle zu Zelle wieder nicht möglich, ohne eine allmälig zunehmende Verdichtung der Säfte in den Zellen. Diese aber wird durch einen Proceß bewirkt, der ganz jenem ähnlich ist, den wir an der halb von einer Flüssigkeit, halb von der Luft umspülten Blase beobachteten. Wie dort, findet auch hier eine unausgesetzte Verdunstung des Wassers aus der Zellhaut in die umgebende Luft statt. Da dies aber von innen her immer wieder ersetzt werden muß, so müssen auch allmälig die Säfte im Innern immer ärmer an Wasser und immer dichter werden. Die Folge davon ist wieder, daß sich der Saftstrom dahin richtet, wo sich das Bedürfniß nach Wasser am meisten zeigt. Vor Allem sind es darum die Blätter, die, weil sie die größten Flächen darbieten und darum ganz besonders der Verdunstung ausgesetzt sind, auch ganz vorzugsweise die Erneuerung des Zellinhaltes und den Stoffwechsel begünstigen, die also die wichtigsten Hebel des Wachsthums bilden. Aber auch ein anderer Proceß wirkt mit, daß nie ein Stillstand in der innern Bewegung der Pflanze eintrete und jeder Pflanzentheil zu allen Zeiten den nöthigen Bedarf von Bildungsstoffen erhalte. Das ist die chemische Umwandlung der aufgenommenen Flüssigkeiten selbst. Das Wasser, welches den Pflanzenorganismus durchströmt, setzt nicht allein das Triebwerk seines Lebens in Bewegung, sondern führt auch in aufgelösten Stoffen zugleich die Elemente des Pflanzenleibes mit sich. Die chemische Verbindung dieser Stoffe mit einander und ihr Festwerden verjüngt so einerseits die Organe und verarmt andererseits den Inhalt der Saftzellen, so daß sie, nach neuen Lebensströmen dürstend, immer auf's Neue den ewigen Kreislauf anregen.

Mancher geheimnißvolle Vorgang freilich, der nicht in chemischer Verwandtschaft und nicht in physikalischen Bewegungsgesetzen seine Erklärung findet, verdunkelt noch immer das Räthsel des pflanzlichen Lebens, und verwickelter noch sind die Ernährungs- und Bildungsprocesse unseres eigenen Leibes. Aber die letzte Grundlage dieser Processe bilden doch immer die zarten und geheimnißvollen Vorgänge, die nach dem Gesetze der Endosmose in den feinen Canälen und von Zelle zu Zelle still wirkend die Stoffe verjüngen und den Kreislauf des Lebens erhalten.

So sehen wir wieder, wie die menschliche Kunst wohl die roheren und gröberen Naturkräfte zu ihrem Dienste auszubeuten vermag, wie

die Natur aber mit den zarteren und übersehenen ihre lebendigen Werke schafft.

Fünftes Kapitel.

Das Gleichgewicht und die Bewegung luftförmiger Körper.

Der Luftdruck.

Die luftförmigen Körper unterscheiden sich von den flüssigen im Wesentlichen dadurch, daß sie sich sehr leicht in engere Räume zusammendrücken lassen, und daß sie sich bei nachlassendem Drucke wieder ausdehnen. Im Uebrigen haben sie die Eigenschaft der Schwere mit allen Körpern gemein, und üben deshalb auch einen Druck auf andere, feste wie flüssige, Körper aus.

Die atmosphärische Luft, welche uns umgiebt, muß schon als Theil unserer Erde ihrer allgemeinen Anziehung unterworfen und darum schwer sein. Man hat sie auch in der That gewogen, indem man aus gläsernen Kugeln die Luft möglichst zu entfernen suchte und dann ihr Gewicht mit dem lufterfüllter Kugeln verglich. Sie ist in dieser Weise etwa 770mal leichter als das Wasser gefunden worden. Natürlich nimmt die Dichtigkeit der Luft mit der Höhe der Atmosphäre ab, nicht allein, weil mit der Entfernung sich die Wirkung der Schwere verringert, sondern auch weil der Druck der oberen Luftschichten auf die unteren mit der Höhe geringer wird. Wie gering aber auch diese Dichtigkeit in den obersten Schichten noch sein mag, so muß doch für unsere Erde eine Grenze nach außen gegen den Weltraum hin bestehen. Die Atmosphäre gehört ja wirklich der Erde an und kann keineswegs blos als die Verdichtung eines kosmischen, durch den ganzen Weltraum verbreiteten Aethers gedacht werden, der etwa theilweise durch die Schwere an der Erde zurückgehalten würde. Schon die Rotation der Erde fordert eine solche Begrenzung. Wie sich auch die Luft in dem Weltraume ausdehnen mag, in einer gewissen Höhe müßte doch eine Trennung zwischen den rotirenden Lufttheilen der Atmosphäre und den ruhenden des äußern Raumes vorhanden sein, mindestens da, wo die Fliehkraft die Schwere zu überwinden anfängt. Allerdings besitzen

die luftförmigen Körper eine Ausdehnsamkeit, wie sie den flüssigen und festen auch nicht im Entferntesten zukommt. Welcher Raum auch einer Luftart dargeboten wird, ihre kleinste Menge füllt ihn augenblicklich aus; und wie wir auch eine Luftart zusammendrücken mögen, ihr Gegendruck vermöge ihrer Ausdehnsamkeit giebt ihr sofort nach Entfernung des Druckes den früheren Umfang wieder. Da also, wo diese Ausdehnungskraft der Luft von dem Zuge der irdischen Schwere überwunden wird, muß die wahre Grenze unserer Atmosphäre sein. Die Höhe dieser Grenze zu bestimmen, haben sich die Forscher vergeblich bemüht. Eine Höhe von 10 Meilen dürfte jedenfalls keine übermäßige Annahme sein. Diese weite luftige Hülle unseres Erdkörpers ist nun jedenfalls keine beständige und gleichbleibende. Schon unter dem Einflusse der Wärme muß sich auch fortwährend die Ausdehnsamkeit der Luft ändern. Die Oberfläche dieses Luftmeeres, auf dessen Grunde wir leben, befindet sich also in einem steten Wogen, in einem Ebben und Fluthen, gleich der Oberfläche unserer Oceane. Gleichwohl erlangen wir eine Kunde von diesem Ebben und Fluthen des Lufmeeres, und das Instrument, das uns diese Kunde verschafft, ist das Barometer.

Das Barometer, wie es uns in seiner gewöhnlichen Form als Kapsel- oder Flaschenbarometer entgegentritt, ist eine etwa 30 Zoll lange, ziemlich starke Glasröhre, die mit Quecksilber gefüllt ist, aus welchem durch Kochen sorgfältig jede Luft und Feuchtigkeit entfernt worden ist. Nach der Füllung ist diese Röhre an ihrem oberen Ende zugeschmolzen worden; am unteren dagegen ist sie offen geblieben und entweder gekrümmt und birnförmig erweitert oder in ein offenes Quecksilbergefäß getaucht. Nach unserer gewöhnlichen Vorstellung sollte das Quecksilber aus dieser unteren Oeffnung ausfließen. Gleichwohl sinkt es in der Röhre höchstens um ein paar Zoll herab und bleibt dann darin hängen. Das scheint dem Gesetze der Schwere sowohl, als dem Gesetze der communicirenden Röhren zu widersprechen, wonach Flüssigkeiten in den zusammenhängenden Schenkeln einer Röhre stets gleich hoch stehen sollen. Aber dieser Widerspruch ist nur ein scheinbarer, wie jede Ausnahme von Naturgesetzen. Schon bei der Haarröhrchen-Anziehung konnten wir in Folge des Strebens nach Tropfenbildung die Flüssigkeit in zwei ungleichen engen Röhren verschiedene Höhenstände annehmen sehen. Ebenso muß aber auch die verschiedene Dichtigkeit zweier die Schenkel communicirender Röhren füllender Flüssigkeiten verschiedene Höhenstände bedingen. Die Forderung dieses

Gesetzes beruhte ja doch nur auf dem Gleichgewichte des Druckes der Flüssigkeiten gegen den Boden. Aber dieser Druck ist nicht allein von der Druckhöhe, sondern auch von der Dichtigkeit oder dem specifischen Gewichte der Flüssigkeiten abhängig. Queckſilber ist $13^1/_2$mal so schwer als Wasser. Eine Queckſilbersäule wird daher auch einen $13^1/_2$mal so großen Druck auf den Boden eines Gefäßes ausüben, als eine Wassersäule von gleicher Höhe, wird also auch eine $13^1/_2$mal so hohe Wassersäule erfordern, um ihrem Drucke das Gleichgewicht zu halten. Gießt man daher in den einen Schenkel communicirender Röhren Queckſilber, in den andern Wasser, so wird das Queckſilber in jenem nur 1 Zoll hoch stehen, während das Wasser in diesem $13^1/_2$ Zoll hoch steigt. Ganz ähnlich verhält es sich nun auch mit der scheinbaren Ausnahme von dem allgemeinen Naturgesetze, welche das Barometer darbietet.

Schon in den Zeiten des Alterthums und des Mittelalters wußte man aus Erfahrung, daß eine Flüssigkeit in einer engen Röhre schwebend erhalten werden könne, wenn man ihre obere Oeffnung mit dem Finger verschließe. Man wußte auch bereits, daß die Flüssigkeit in einer solchen Röhre aufwärts steige, wenn man durch Saugen die Luft darüber wegnehme. Aber eine Erklärung für diese Erscheinungen wußte man nur in der Annahme einer besondern geheimnißvollen Kraft der Natur zu finden. Man schrieb der Natur einen instinctartigen Abscheu vor dem leeren Raume, einen horror vacui, zu, der sie zwinge, die Flüssigkeit in einer Röhre selbst gegen das Gesetz der Schwere zu erhalten. Wenn die Flüssigkeit herabsänke, sagte man, so müßte ja oben in der Röhre ein leerer Raum entstehen, und einen solchen leide die Natur nicht, weil er ihren weisen Absichten und Zwecken zuwider sei. So dachte man noch bis in das 17te Jahrhundert hinein. Da wurde in dem großherzoglichen Garten zu Florenz eine ungewöhnlich hohe Pumpe angelegt, und zu allgemeiner Verwunderung lieferte diese kein Wasser. Das Wasser stieg in dem Brunnenrohre nur 32 Fuß hoch, und wie sehr man sich auch anstrengte, den Kolben höher zu ziehen, der Raum blieb leer, und das Wasser folgte nicht nach. Sollte der Abscheu der Natur vor dem leeren Raume hier eine Grenze gefunden haben? Man war nicht abgeneigt, diese Frage zu bejahen, als die Erscheinung durch den berühmten Torricelli'schen Versuch im Jahre 1643 noch verwickelter wurde. Torricelli, der Schüler des großen Galilei, zeigte nämlich, daß in einer mit Queckſilber gefüllten, 30 Zoll langen Glasröhre, wenn man das eine Ende derselben mit

dem Finger verschloß und sie mit dem andern offenen senkrecht in ein Quecksilbergefäß stellte, das Quecksilber in der Röhre nicht ganz unverändert hängen blieb, sondern um etwa 2 Zoll herabsank, also einen leeren Raum von 2 Zoll zurückließ. Hier erreichte nun der Abscheu der Natur gar schon bei einer Höhe von 28 Zoll seine Grenze! Das hieß nach der Anschauung jener Zeit nichts Anderes, als daß der Abscheu der Natur vor dem leeren Raume abhängig sei von dem Stoffe, in welchem er sich bethätige, daß er in dem Wasser offenbar $13^1/_2$mal größer sein müsse, als in dem Quecksilber. Eine solche, beliebig durch Stoffe zu begrenzende Naturkraft mußte denkenden Forschern schon damals unhaltbar erscheinen. Und überdies bot sich die Lösung so nahe. Jenes Verhältniß der Höhen, bis zu welchen sich Wasser und Quecksilber in oben verschlossenen Röhren schwebend zu erhalten vermögen, ist nichts Anderes, als das umgekehrte Verhältniß der Dichtigkeiten beider Flüssigkeiten. Das Quecksilber ist $13^1/_2$mal schwerer als das Wasser. Es ist also vollkommen selbstverständlich, daß Flüssigkeitssäulen, deren Höhen dem umgekehrten Verhältnisse ihrer Dichtigkeiten entsprechen, den gleichen Druck ausüben. Um die Erscheinung in dem Brunnenrohre zu Florenz und in dem Torricelli'schen Versuche zu erklären, wird man also nicht erst seine Zuflucht zu neuen Wunderkräften zu nehmen, sondern wird einfach nur den Gegendruck zu suchen haben, welcher der einen wie der andern Flüssigkeitssäule das Gleichgewicht hält. Dieser Gegendruck aber kann von nichts Anderem herrühren, als von der atmosphärischen Luft, welche an dem offenen Ende jener Röhren freien Zutritt hat und über den Flüssigkeiten ruht, wie in dem andern Schenkel communicirender Röhren. Das war es, was schon Torricelli behauptete.

Die Größe des Druckes, welchen die Atmosphäre ausübt, wird offenbar durch die Höhe der von ihr schwebend erhaltenen Quecksilbersäule, also durch den Stand des Quecksilbers in dem bekannten Barometer gemessen. Um diesen Höhenstand, d. h. die Höhe des Quecksilbers im verschlossenen Schenkel über der Oberfläche des Quecksilbers im offenen Schenkel, messen zu können, ist das Instrument mit einer Scala versehen, welche in Deutschland am gewöhnlichsten in Pariser Zolle, neuerdings auch häufig in Millimeter getheilt ist. Natürlich darf die Glasröhre nicht zu eng sein, damit nicht der Reibungswiderstand der Wände und die Haarröhrchenkraft einen zu großen Einfluß auf die Bewegung des Quecksilbers erhalten. Ebenso muß der offene Theil der Röhre oder das offene Quecksilbergefäß, in welches die Röhre

gestellt ist, eine hinreichende Weite haben, damit der Stand des Queckſilbers in der Röhre von den kleinen Veränderungen des Queckſilbers in dieſem offenen Theile unabhängig erhalten wird. Die genaueſte Meſſung geſtattet darum immer das ſogenannte Heberbarometer, bei welchem die mit Queckſilber gefüllte Glasröhre an ihrem offenen Theile in eine gleiche nach oben umgebogene Röhre fortgeſetzt iſt. Natürlich muß die Scala hier verſchiebbar ſein, da mit jedem Fallen oder Steigen des Queckſilbers in dem verſchloſſenen Schenkel auch zugleich das Queckſilber im offenen Schenkel ſteigt oder fällt, und ſich alſo der Nullpunkt der Scala verſchiebt. Genaue Meſſungen erfordern oft ſelbſt die Hülfe von Vergrößerungsgläſern und die Berückſichtigung aller Umſtände, welche auf den Stand des Queckſilbers einen Einfluß haben können, und unter welchen insbeſondere die Ausdehnung durch die Wärme nicht vernachläſſigt werden darf, obgleich ſie ſo gering iſt, daß ſie vom Gefrierpunkte bis zum Siedepunkte des Waſſers nur $^2/_{111}$ des Raumgehaltes des Queckſilbers, alſo für jeden Grad nur $^1/_{5550}$ der Queckſilberſäule oder kaum $^1/_{20}$ Linie beträgt.

Da das Barometer die Größe des Luftdruckes mißt, ſo muß es uns auch die Veränderungen desſelben anzeigen, und zwar zunächſt diejenigen Veränderungen, welche eintreten, wenn die Höhe der drückenden Luftſäule ſich ändert. Das Barometer muß fallen, wenn wir es auf hohe Berge tragen, und die Größe ſeines Fallens muß zugleich ein Mittel werden, die Höhe unſeres Aufſteigens, die Höhe des Berges zu meſſen. Da die atmoſphäriſche Luft bei einem Barometerſtande von 28 Zoll ungefähr 10,500mal leichter iſt, als das Queckſilber, ſo werden wir im Allgemeinen um 10,500 Linien oder 73 Fuß ſteigen müſſen, damit das Queckſilber im Barometer um 1 Linie fällt. Der Höhenunterſchied zweier Orte würde ſich alſo ſehr leicht aus dem Unterſchiede der Barometerſtände berechnen laſſen, wenn nicht bei höherem Aufſteigen das Barometer allmälig langſamer fallen müßte, da mit zunehmender Höhe die Dichtigkeit der Luft abnimmt, und eine weniger dichte Luft auch einen geringeren Druck übt. In einer Höhe, in welcher das Barometer auf 14 Zoll ſteht, wo die Dichtigkeit der Luft alſo nur noch halb ſo groß iſt, wird man offenbar 146 Fuß ſteigen müſſen, damit das Barometer um 1 Linie fällt. Während das Barometer alſo in unſeren Ebenen einen mittleren Stand von 28 Zoll zeigt, ſteht es auf dem Montblanc bei 14,500 Fuß Höhe zwar nur 16 Zoll, auf dem Ozo bei 20,000 Fuß Höhe ſogar nur 12 Zoll hoch, aber doch

nicht $11\frac{1}{2}$ Zoll auf jenem und 5 Zoll auf diesem Berge, wie es ohne diese Abnahme der Dichtigkeit stehen sollte.

Eine genaue barometrische Höhenmessung, die freilich vor der trigonometrischen Messung den großen Vorzug der Einfachheit und Bequemlichkeit hat, erfordert doch noch die Berücksichtigung mancher Nebenumstände. Bekanntlich haben die über einander liegenden Luftschichten der Atmosphäre nicht die gleiche Temperatur, sondern werden in der Regel um so kälter, je höher man sich über den Meeresspiegel erhebt. Die kälteren Luftschichten sind aber zugleich dichter als die wärmeren, und so wird der Barometerstand auch durch die Wärmeverhältnisse der Atmosphäre bedingt werden. Im Allgemeinen kann man wohl annehmen, daß bei ruhigem Wetter die Temperatur der Luft in senkrechter Richtung sich gleichmäßig verändert, und man kann daher ohne großen Fehler das Mittel aus den Temperaturen der beiden Endpunkte als die mittlere Temperatur der ganzen dazwischen liegenden Luftsäule betrachten. Da der Physiker nun genau die Größe kennt, um welche sich die Luft für jeden Temperaturgrad ausdehnt, so kann er auch leicht den Einfluß dieser Temperatur auf den Barometerstand berechnen.

Damit sind aber die Vorsichtsmaßregeln für eine barometrische Höhenmessung noch keineswegs erschöpft. Wie jeder irdische Körper, so verliert auch eine Luftschicht an Gewicht, je weiter sie sich vom Mittelpunkte der Erde entfernt. Ebenso wirkt die aus der täglichen Umdrehungsbewegung der Erde entspringende Fliehkraft verändernd auf die Schwere ein, und zwar verschieden unter verschiedener geographischer Breite. Endlich ist auch der Einfluß der Feuchtigkeitsverhältnisse der Luft auf die Ausdehnung und den Druck der Luftschichten zu berücksichtigen, da feuchte Luft immer leichter ist als trockene. Alle diese, die Dichtigkeit der Luftschichten beeinflussenden Ursachen machen natürlich Correctionen oder Verbesserungen in der Höhenberechnung nöthig und haben darum auch bei den Formeln und Tabellen mit beobachtet werden müssen, welche insbesondere Laplace und Bessel für die barometrische Höhenmessung entworfen und berechnet haben.

Sichere Resultate können durch dieses barometrische Verfahren überhaupt nur erzielt werden, wenn der horizontale Abstand der Beobachtungspunkte nicht allzugroß ist, und wenn nicht zwischen diesen Punkten eine Gebirgswand oder Wasser liegt, wodurch die Zustände der Atmosphäre häufig so abgeändert werden können, daß nicht einmal annähernd ein Gleichgewicht zu erwarten ist. Ebenso müssen die Beobachtungen stets bei ruhiger Luft vorgenommen werden, da auch die

Winde erfahrungsgemäß einen ungleichen Einfluß auf das obere und untere Barometer äußern. Endlich ist es nicht einmal gleichgültig, zu welcher Tageszeit die Beobachtungen angestellt werden. Die geeignetste Zeit ist die um 8 Uhr Morgens und 4 Uhr Nachmittags, wo die Luft am gleichmäßigsten erwärmt ist und weder auf- und absteigende Luftströmungen, noch Feuchtigkeit störend einwirken, während bei Sonnenaufgang oder um 2 Uhr Mittags die Messung oft Fehler von 20—25 Fuß auf 1000 Fuß ergeben kann.

Da gleichzeitige Beobachtungen, wie sie die Theorie für diese Messung eigentlich erfordert, nicht immer möglich sind, so pflegen auf Reisen zwei Beobachter hinter einander her den gleichen Weg zu verfolgen und mit genau verglichenen Instrumenten an denselben Punkten Beobachtungen anzustellen, so daß also der zweite Beobachter an jeder Station etwa eine Viertelstunde nach dem ersten eintrifft und beobachtet. Der einzelne Reisende darf es sich nicht verdrießen lassen, von jeder Station an die frühere zurückzukehren, um dort nochmals zu beobachten und so für jede Station 3 Beobachtungen zu erhalten, in welchen sich die kleinen Veränderungen des Barometerstandes ausgleichen.

Natürlich erhält man durch barometrische Messungen immer nur relative Höhen, d. h. die Höhenunterschiede der Beobachtungspunkte. Um daher absolute Höhen, d. h. die Höhen über dem Meeresspiegel zu erhalten, muß man mit seinen Beobachtungen bis zu einem seiner Meereshöhe nach genau bekannten Punkte fortschreiten.

Wie die abnehmende Höhe der drückenden Atmosphäre, so muß sich auch ihre abnehmende Dichtigkeit, durch welche Ursachen sie auch veranlaßt wird, durch das Fallen des Barometers verrathen. Diese Dichtigkeitsveränderungen der Luft sind es aber ganz besonders, durch welche unser *Wetter* bedingt wird. Der Eigenschaft, solche Dichtigkeitsveränderungen anzuzeigen, verdankt daher unser Barometer seinen Namen als „Wetterglas" und seinen Ruf als „Wetterprophet". Mit seinen Prophezeihungen sieht es freilich nicht viel besser aus, als mit andern Prophezeihungen. Wenn sich auch im Allgemeinen bei vermindertem Luftdrucke, also fallendem Barometer, eine Störung im Gleichgewichte der Luftschichten, also eine Bewegung, Wind, oder ein Niederschlag, Regen, bei vermehrtem Luftdrucke, also Steigen des Barometers, Trockenheit und beständiges Wetter erwarten läßt, so brauen doch am Wetter so viele Mächte, so viele unbekannte und unberechenbare Kräfte und Bewegungen, daß das Barometer, welches deren ja doch nur wenige zu verrathen vermag, gar oft in seinen Versprechungen

täuschen muß. Ueberdies wirken bei den Bewegungen des Barometers selbst so verschiedene Einflüsse zusammen, daß der eine gar oft die Wirkung des andern völlig zu vernichten vermag. Immer ist es ja doch auch nur ein sehr verkleinerter Maßstab, in welchem sich die atmosphärischen Wellen auf die kleine Quecksilbersäule übertragen. Wenn die Höhe der drückenden Luftsäule auch nur zehntausendmal die messende Quecksilbersäule übertreffen sollte, so lesen wir ja doch nur in Zehntausendtheilen die Veränderungen der Atmosphäre an der Scala des Barometers ab.

Die Orakelsprüche des Barometers werden erst einigermaßen verständlich, wenn man die beiden wichtigsten Ursachen, welche stets vereint auf seinen Stand einwirken, den Druck der trockenen Luft und den des mit ihr vermischten Wasserdampfes, aus einander hält.

So oft die Sonne die Atmosphäre erwärmt und gleichsam auflockert, oder so oft kältere Luft durch einen wärmeren Strom verdrängt wird, muß auch das Barometer sinken. Das würde regelmäßig und stets der Fall sein, wenn nicht der Wasserdampf, welchen zugleich die Wärme dem Luftmeere zuführt, gerade die entgegengesetzte Erscheinung, ein Steigen des Barometers veranlaßte. Der Stand des Barometers hängt also davon ab, ob der eine oder der andere dieser beiden Einflüsse der überwiegende ist. Im Allgemeinen pflegt das Barometer nach Sonnenaufgang unter dem Einflusse der Verdampfung zu steigen und um 10 Uhr Vormittags einen höchsten Stand zu erreichen. Dann sinkt es wieder, da besonders im Innern der Festländer jene Erwärmung und Auflockerung der Luft die Dampfbildung überwiegt; und einige Zeit nach der größten Tageswärme, etwa um 4 Uhr Nachmittags, nimmt es seinen tiefsten Stand ein. Um diese Zeit aber beginnt sich, in Folge der zunehmenden Abkühlung, die Luft wieder zu verdichten, und das Barometer erreicht zwischen 10 und 11 Uhr Abends zum zweiten Male einen höchsten Stand, bis die starke Verminderung des Dampfgehaltes der Luft das Barometer abermals sinken macht und es gegen 4 Uhr Morgens einem zweiten tiefsten Stande zuführt. Auch im Laufe des Jahres muß natürlich der Barometerstand im Allgemeinen zwei höchste und zwei niedrigste Werthe annehmen; nur lehrt die Erfahrung, daß im Gegensatze zu dem täglichen Verlaufe die höchsten Stände hier mit den höchsten und niedrigsten Temperaturgraden zusammentreffen, die niedrigsten Stände dagegen in die Zwischenzeiten fallen. Die Erklärung dafür liegt nahe. Wenn nämlich zur Zeit der größten Tageswärme der aufsteigende warme Luftstrom mehr Wasser-

dampf entführen mußte, als sich gleichzeitig am Boden zu bilden vermochte, so hat beim langsamen und allmäligen Anwachsen und Abnehmen der Wärme im Jahreslaufe die Entwickelung der Wasserdämpfe vollauf Zeit, nachzufolgen.

Wichtiger als diese ziemlich regelmäßigen täglichen und jährlichen Schwankungen des Barometers sind jene unregelmäßigen, welche vorzugsweise durch den Wechsel kalter und warmer Winde veranlaßt werden. Gerade diese sind es, welche bei dem wetterprophetischen Berufe des Barometers die bedeutendste Rolle spielen. Bei uns und im ganzen mittleren Europa überhaupt pflegen die höchsten Barometerstände mit Nord- und Nordost-, die niedrigsten mit Süd- und Südwestwinden zusammen zu fallen. Da nun die Südwestwinde nach Europa vom atlantischen Ocean her Wolken und Regen bringen, die Nordostwinde aber trockenes und heiteres Wetter, so betrachtet man das Fallen des Barometers bei Nordost als einen Vorboten von südlicheren Winden und von Regen, das Steigen des Barometers bei Südwest oder West dagegen als ein Zeichen, daß der Wind sich nördlicher wenden und der Himmel sich aufklären werde, worauf im Sommer also helle und heiße Tage zu folgen, im Winter aber strenge Kälte einzutreten pflegt.

Manches Geheimniß vermag uns das Barometer also wohl aus dem dunkeln Schooße der wetterbrauenden Mächte zuzuflüstern; nur müssen wir diese Zuflüsterungen stets mit großer Vorsicht, oft selbst mit Mißtrauen entgegennehmen. Die Veränderung des Barometerstandes kündet uns in Wahrheit nur irgend eine Veränderung in dem Gleichgewichtszustande der Atmosphäre an. Mit Sicherheit aber errathen zu wollen, welche bestimmte Bedeutung jedesmal dieser Veränderung zukomme, das hieße sich getrauen, aus den zahllosen mitwirkenden Einflüssen stets gerade den einen und rechten als die verändernde Ursache zu erfassen.

Daß die Lehre vom Luftdrucke anfangs auf einen hartnäckigen Widerstand stoßen mußte, ist sehr begreiflich. Noch heute kann sich Mancher nicht in die Vorstellung finden, daß diese leichte, weiche Luft, die er an einem milden Sommerabend so behaglich einathmet, einen Druck ausüben soll, der einer Quecksilbersäule von 28 Zoll Höhe das Gleichgewicht hält. Ein einziger Cubikzoll Quecksilber wiegt etwa 16 Loth, und eine Quecksilbersäule von 28 Zoll Höhe und 1 Quadratzoll Grundfläche wird darum nicht weniger als 448 Loth oder fast 15 Pfund wiegen. Auf jeden Quadratzoll muß also auch die Luft einen Druck von 15 Pfund, auf jeden Quadratfuß einen Druck von

2160 Pfund oder fast 22 Centnern ausüben. Einen solchen Druck, meint man, müßte man doch mindestens an seinem eigenen Körper empfinden. Der Körper eines erwachsenen Menschen bietet der Luft ungefähr eine Fläche von 14—15 Quadratfuß dar, und es muß also darauf ein Luftdruck von mindestens 30,000 Pfund oder 300 Centnern lasten. Mag dieser Druck auch gleichförmig vertheilt, von allen Seiten her gegen den Körper wirken, so erscheint doch Vielen unbegreiflich, daß er den Körper nicht in sich zusammendrücken, zermalmen soll. Eine einfache Erklärung reicht aus, diesen scheinbaren Widerspruch zu lösen.

Daß das Knochengerüst einen solchen Druck, ja wohl einen stärkeren zu tragen vermag, ist nicht zu bezweifeln. Daß die Flüssigkeiten im menschlichen Körper an sich nicht zusammengedrückt werden können, liegt in ihrer Natur. Bedenklicher könnte es mit der Luft in den Gefäßen stehen. Aber ein Druck kann ja nur wirken, sich bemerkbar machen, wo er nicht den gleichen Gegendruck erfährt. Nur dünnere, leichtere Luft kann zusammengedrückt werden. Luft in Luft drückt nicht. Nun ist aber die Luft im menschlichen Körper mit der äußeren durchaus von gleicher Dichtigkeit; sie kann also auch nicht zusammengedrückt werden. Die größte Gefahr könnte die zarten Gewebe und Häutchen bedrohen, welche die Gefäße umhüllen. Wenn sie auch bei der Gleichmäßigkeit des von allen Seiten her wirkenden Druckes nicht gerade zerrissen werden können, so sollten sie doch von der ungeheueren Gewalt zerdrückt, zerquetscht werden. Aber die Gewalt ist gar nicht so ungeheuer, wenn man die große Zertheilung des Druckes erwägt. Ein solches Gefäßchen umfaßt vielleicht nur eine Fläche von 1 oder gar $^1/_{10}$ Quadratlinie, und der Druck der Luft auf diese kann also auch nur etwa 3 Loth resp. $^3/_{10}$ Loth betragen. So bereitet man sich selbst oft Unbegreiflichkeiten um ungeheuerer Zahlen willen, deren wahre Bedeutung zu erfassen man sich nicht die Mühe giebt.

Daß gleichwohl der Druck der Luft auf unsern Körper besteht, wird erst dann bemerkbar, wenn eine Störung des bestehenden Gleichgewichts zwischen innen und außen eintritt. Die Arbeiter in tiefen Schachten empfinden sehr wohl die Vermehrung des Luftdruckes an der Erschwerung des Athmens, und mancher Besteiger hoher Alpengipfel und mancher Luftschiffer weiß zu erzählen, wie in der dünneren und leichteren Luft der Höhen der innere Druck des Blutes die feinen Gefäße in Augen, Nase und Mund zersprengte, und wie er erst zu bluten aufhörte, als er wieder in die Tiefe stieg. Aber die Reisenden berichten dann gewöhnlich auch von einer seltsamen Müdigkeit, die sie auf den hohen Berggipfeln verspürten, und die sie zwang, sich wiederholt

niederzusetzen und auszuruhen. Auch diese Müdigkeit hängt, wie neuere Untersuchungen gelehrt haben, mit dem verminderten Luftdrucke zusammen und mit einer dadurch vermehrten Anstrengung der Muskeln, welche Arme und Beine zu tragen haben. Die Luft trägt nämlich in der That unsere Beine beinahe wie die Quecksilbersäule des Barometers. Die Pfanne, in welche der kugelförmige Kopf des Schenkelknochens genau hineinpaßt, ist eine spiegelglatte, mit einer schlüpfrigen Flüssigkeit benetzte Vertiefung an jeder Seite des Beckens. Nur eine einfache Membran (Haut) hüllt das ganze Gelenk ein, jedenfalls viel zu schwach, um das Bein in der Pfanne festzuhalten. Die Muskeln sind, wenn wir das Bein frei hangen und hin- und herschwingen lassen, völlig schlaff. Man kann sie sogar am Leichnam durchschneiden, ohne daß das Bein vom Becken herabfällt. Sobald aber durch das Becken hindurch mitten in die Pfanne ein kleines Loch gebohrt wird, fällt das Bein herab, und zwar ehe noch die Spitze des Bohrers den Schenkelkopf berührt, einfach, weil nun die Luft eindringen kann. Der Schenkelkopf wird also in der luftdicht schließenden Pfanne vom Drucke der äußeren Luft zurückgehalten, und das Bein wird von der nach oben drückenden Luft gleichsam getragen. Wir bedürfen daher auch in der That keiner Kraftanstrengung, um das Bein während des Gehens zu tragen; wir empfinden sie aber wohl, wenn die Tragkraft der Luft sich mindert, wie in der dünnen Luft hoher Gebirgsregionen.

Heber und Pumpen.

Außer der Eigenschaft der Schwere besitzt die Luft noch eine andere Eigenschaft, welche bei dem Drucke, den sie ausübt, und bei den Bewegungen, die eine Folge desselben sind, eine wichtige Rolle spielt; das ist die Elasticität. Wäre die Luft völlig unelastisch, so würde sie überall die gleiche Dichtigkeit besitzen, und die Barometerhöhe würde bei gleichen Erhebungen über den Horizont eines bestimmten Ortes sich in gleicher Weise vermindern. Aber die Luft ist bekanntlich im höchsten Grade elastisch, und das ist es, was sie wesentlich von den Flüssigkeiten unterscheidet. Sie wird bei zunehmendem Drucke stets in einen engeren Raum zusammengepreßt und dehnt sich bei nachlassendem Drucke wieder aus. Schon im Jahre 1660 wies der englische Physiker Boyle durch Versuche nach, daß das Volumen der Luft sich in demselben Verhältnis verringert, in welchem der darauf ausgeübte Druck vermehrt ist, also bei zwei-, drei-, viermal so starkem Drucke die Luft

in einen zwei-, drei-, viermal so kleinen Raum zusammengepreßt wird. Dieses Gesetz, welches im Jahre 1676 durch den französischen Physiker Mariotte seine Bestätigung und durch dessen Schriften seine weitere Verbreitung erhielt, weshalb es gewöhnlich das Mariotte'sche Gesetz genannt wird, verliert allerdings bei sehr starkem Drucke seine volle Gültigkeit und ist auch bei mäßigem Drucke streng genommen nicht mathematisch richtig. Aber alle Abweichungen, selbst bis zur Höhe eines 20fach unsere Atmosphäre übertreffenden Druckes, sind so unbedeutend, daß sich ohne Bedenken für die atmosphärische Luft nicht allein, sondern auch für alle Gasarten ganz allgemein das Gesetz festhalten läßt: die Elasticität der Luft wächst in gleichem Verhältniß mit ihrer Dichtigkeit.

Als eine Folge dieses Gesetzes haben wir bereits die Thatsache kennen gelernt, daß das Barometer um so langsamer fällt, je weiter man sich damit von der Oberfläche der Erde entfernt, daß man bei einem Barometerstande von 14 Zoll um 146 Fuß steigen muß, ehe das Barometer um 1 Linie fällt, während man bei einem Barometerstande von 28 Zoll nur 73 Fuß zu steigen braucht, um den gleichen Erfolg zu sehen.

Eine andere Wirkung dieses Gesetzes wird sich in den Bewegungen zeigen, die überall eintreten müssen, wo Luftmassen von verschiedener Dichtigkeit mit einander in Berührung kommen. Die einfachste dieser Bewegungen erzeugen wir selbst mit jedem Athemzuge. Indem wir durch die Ausdehnung des Brustkastens die Lungensäcke erweitern, wird zugleich die Luft in denselben verdünnt. Sie vermag nun nicht mehr der äußeren, dichteren das Gleichgewicht zu halten, diese strömt durch die Luftröhre ein und preßt sich nun in alle die feinen Canäle der Lungen hinein. Wenn umgekehrt durch Zusammenziehung des Brustkastens die Luft in den Lungen verdichtet wird, so erhält diese das Uebergewicht über die äußere Luft und strömt vermöge ihrer vermehrten Elasticität durch die Luftröhre aus.

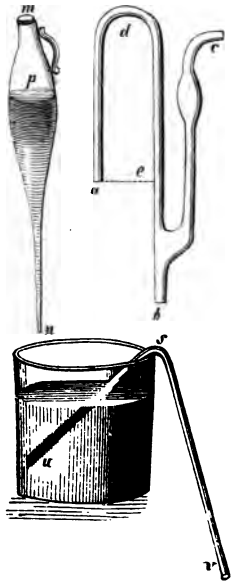
Ganz ähnlich sind die Vorgänge beim Saugen und Trinken. Durch Ausdehnung der Lungen wird auch hier die Luft in der Mundhöhle verdünnt, und die Flüssigkeit, welche entweder unmittelbar oder durch ein Röhrchen mit den Lippen in Berührung gebracht wird, in Folge des stärkeren Druckes, den sie nun von der äußeren Luft erfährt, gezwungen, in den Mund einzutreten.

Ganz allgemein wird daher der Satz gelten, daß das Gleichgewicht zwischen zwei mit Luft gefüllten und irgendwie mit einander

verbundenen Räumen nur dann bestehen kann, wenn die Luft in beiden die gleiche Dichtigkeit hat, daß aber bei einer verschiedenen Dichtigkeit der Luft in beiden Räumen eine Strömung aus dem Raume, in welchem die Luft die größere Dichtigkeit und also auch die größere Elasticität besitzt, in den mit weniger dichter Luft gefüllten Raum eintreten muß.

Daß ein solcher Satz, auch ohne daß er in seiner wissenschaftlichen Begründung erkannt wurde, seine Verwerthung im Leben finden mußte, ist wohl begreiflich. Man konnte unmöglich Becher und Pocale leeren, ohne einmal auf den Gedanken zu kommen, daß durch ähnliche Vorrichtungen, wie der trinkende Mund, man auch im Stande sein müsse, Seen und Meere zu entwässern. In der That hat schon in ältester Zeit der erfinderische Sinn des Menschen mancherlei Vorrichtungen erdacht, um mit Hülfe jener Eigenschaften der Luft, auf welche das Mariotte'sche Gesetz hinweist, Flüssigkeiten zu heben und zu bewegen.

Fig. 44.



Eine der einfachsten dieser Vorrichtungen ist der bekannte Stechheber, eine nach oben bauchig erweiterte, unten in eine feine Spitze auslaufende Röhre, mn, Fig. 44. Taucht man denselben in eine Flüssigkeit, so wird sie in demselben natürlich eben so hoch steigen, als sie in dem Gefäße selbst steht. Schließt man dann die obere Oeffnung mit dem Finger und hebt den Stechheber aus der Flüssigkeit heraus, so fließt zwar anfangs ein kleiner Theil der Flüssigkeit aus; dadurch aber wird zugleich die über der Flüssigkeit im Heber befindliche Luft verdünnt, und der äußere Luftdruck am unteren offnen Ende erhält nun das Uebergewicht und verhindert das weitere Ausfließen der Flüssigkeit. Man kann den gefüllten Heber nun beliebig forttragen, und die darin schwebende Flüssigkeit wird erst ausfließen, wenn man den Finger von der oberen Oeffnung entfernt und dadurch das Gleichgewicht zwischen der Luft innen und außen herstellt, so daß das Gesetz der Schwere wieder ungestört in Wirksamkeit tritt. Natürlich muß die untere

Oeffnung des Stechhebers so eng sein, daß Luft und Flüssigkeit sich nicht gegenseitig ausweichen können. Durch eine zu weite Oeffnung würden Luftblasen eintreten und diese die Luft über der Flüssigkeit mit der äußeren in's Gleichgewicht setzen, so daß die Flüssigkeit vermöge ihrer Schwere ausfließen müßte.

Ganz dieselbe Erscheinung, wie beim Stechheber, zeigt sich bei allen Gefäßen mit hinreichend kleiner Oeffnung. Der Inhalt eines Fasses fließt durch den geöffneten Hahn nicht aus, wenn nicht zuvor der Spund geöffnet und dadurch der gleiche Luftdruck von außen und innen hergestellt wird. Aus demselben Grunde versieht man daher auch gutschließende Deckel von Thee- und Kaffeekannen, sowie die Oelbehälter an unsern Lampen mit kleinen Oeffnungen.

Eine ganz ähnliche Bewandtniß hat es auch mit dem gewöhnlichen gekrümmten Heber, dessen man sich bedient, um Flüssigkeiten aus großen, feststehenden Gefäßen in andere überzuleiten. Es ist eine zweischenkelig gebogene Röhre, u s v, deren kürzerer Schenkel in die Flüssigkeit getaucht wird. Saugt man nun die Luft aus diesem Heber aus, sei es unmittelbar durch die Oeffnung v des größeren Schenkels, oder, wie bei dem sogenannten Saugheber a d b c durch eine besondere Ansatzröhre c, wobei natürlich die untere Oeffnung b mit dem Finger verschlossen werden muß, so füllt sich nicht allein der Heber mit der Flüssigkeit, sondern dieselbe fließt auch durch den längeren Schenkel aus und fährt so lange fort zu fließen, als die Oeffnung deses Schenkels sich unter dem Flüssigkeitsspiegel befindet. Das Befremdendste dabei ist, daß sich hier eine Flüssigkeit aufwärts bewegt, ohne daß irgend eine Kraft erkennbar ist, welche diese Bewegung bewirkt.

Daß die Flüssigkeit in Folge des Saugens emporsteigt, ist an sich selbstverständlich; es ist ja dieselbe Wirkung des Luftdrucks, die wir bereits beim Trinken kennen lernten. Das Auffallende ist nur, daß die Flüssigkeit durch den Heber aufwärts zu fließen fortfährt, auch nachdem das Saugen aufgehört hat. Nach dem Gesetze der Schwere, sollte man meinen, müßte doch die Flüssigkeitssäule in dem eingetauchten Schenkel des Hebers sich von der in dem äußeren Schenkel sofort wieder trennen und in das Gefäß zurückfließen. Freilich würde dann in dem oberen Theile des Hebers bei s ein leerer oder vielmehr luftverdünnter Raum entstehen müssen, und die Folge davon würde sein, daß der überwiegende Luftdruck die Flüssigkeit wieder zurücktriebe. Allerdings ist damit auch der Wirkung des Hebers eine Grenze gesetzt, und man wird z. B. nicht im Stande sein, Wasser vermittelst des

Hebers höher als 32 Par. Fuß zu heben, da der atmosphärische Druck einer höheren Wassersäule nicht das Gleichgewicht zu halten vermag. Ist aber der Luftdruck im Stande, die Trennung der beiden Flüssigkeitssäulen in der Höhe des Hebers zu verhindern, so hängt diese jetzt zusammenhängende flüssige Masse in den beiden Schenkeln des Hebers herab, und es beginnt nun der Kampf der nach entgegengesetzten Richtungen ziehenden Schwerkräfte. Natürlich trägt das Gewicht der längeren Flüssigkeitssäule im äußeren Schenkel den Sieg über das der kürzeren im inneren Schenkel davon; es zieht die ganze Flüssigkeitsmasse nach sich und zwingt sie, zu fließen, so lange noch ein Uebergewicht vorhanden, d. h. so lange noch die Oeffnung des äußeren Schenkels unter dem Spiegel der Flüssigkeit im Gefäße liegt. So ist es also der Luftdruck nur, der die Flüssigkeit im Heber zum Zusammenhange zwingt, während es die überwiegende Schwere der nach außen mündenden Flüssigkeitssäule ist, welche die Bewegung veranlaßt.

Fig. 45.

Wo große Flüssigkeitsmassen gehoben werden sollen, etwa Wassersäulen von 20 Fuß Höhe und einigen Zollen im Durchmesser, also von mehreren Centnern Gewicht, da reicht natürlich der saugende Mund nicht aus, eine Verringerung des Luftdrucks zu bewirken, wie sie zu solcher Hebung erforderlich ist. Aber man hat es ja überall verstanden, durch sinnreiche Einrichtungen die Hülfe des menschlichen Körpers für mechanische Vorrichtungen entbehrlich zu machen, und wie man den menschlichen Arm durch Hebel und Rollen, so hat man den saugenden Mund durch Pumpwerke ersetzt.

Die bekannte Saugpumpe besteht aus einem über dem Wasser stehenden Cylinder, gewöhnlich Stiefel genannt, in welchem ein Kolben auf und nieder bewegt werden kann, und einem zweiten von dem Boden des erstern bis in das Wasser hinabreichenden Cylinder, dem sogenannten Saugrohre. Der Kolben ist in der Mitte durchbrochen und mit einer, sich nach oben

öffnenden Klappe, einem sogenanten Ventil (e, Fig. 45) versehen. Eine ähnliche Klappe befindet sich in dem Boden des Stiefels bei f.

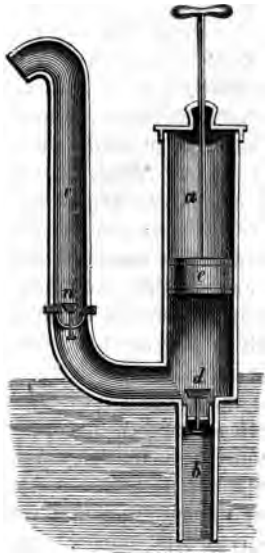
Wenn der Kolben mit Hülfe der bekannten Hebelvorrichtung des Schwengels in die Höhe gezogen wird, so geschieht genau dasselbe, wie wenn wir mit dem Munde an einer Röhre saugen. Der Raum wird erweitert, und die Luft, die diesen größeren Raum zu erfüllen strebt, wird dadurch verdünnt. Natürlich muß der zu erweiternde Raum so abgeschlossen sein, daß nirgends Luft eindringen kann. Das ist er aber in der That, wenn nur der Kolben dicht genug an die Wände des Rohres anschließt. Nach oben wenigstens ist die einzige Oeffnung verschlossen, da das Kolbenventil durch den von oben her wirkenden Luftdruck verschlossen wird. Nach unten ist die Verbindung mit dem Saugrohre durch das im Boden des Stiefels befindliche Ventil gehemmt. Hier aber beginnt nun die dichtere Luft im Saugrohre zu wirken. Vermöge ihrer natürlichen Spannkraft dehnt sie sich aus, öffnet das ihr nach oben entgegenstehende Ventil und strömt nun in den luftverdünnten Raum unter dem Kolben hinauf. Dadurch ist aber auch die Luft des Saugrohres verdünnt worden, und sie kann nun unmöglich noch dem auf das Wasser wirkenden Drucke der äußeren Luft das Gleichgewicht halten. Dieser äußere Druck treibt darum das Wasser empor (bis g), und zwar so weit, bis die gewöhnliche Dichtigkeit der unter dem Kolben befindlichen Luft wieder hergestellt ist.

Noch ist eigentlich nichts weiter geschehen, als daß durch einen Kolbenzug eine gewisse Menge Wasser aufgesogen worden ist. Aber der Kolben geht jetzt wieder nieder, die darunter befindliche Luft wird dadurch wieder zusammengedrückt und öffnet sich das Kolbenventil, um nach oben auszuströmen, verschließt aber zugleich durch ihren Druck das Ventil des Saugrohres. Beim abermaligen Aufziehen des Kolbens dringt daher wieder die Luft aus dem Saugrohre empor, wird wieder verdünnt und zwingt wieder das Wasser, nachzufolgen. Immer auf's Neue wird nun der Kolben auf und nieder gezogen, immer mehr wird die Luft aus dem Rohre entfernt, und immer höher steigt darin das Wasser, bis es endlich den Kolben erreicht, durch sein Ventil dringt und nun bei jedem Aufziehen des Kolbens bis zu der darüber befindlichen Ausflußröhre gehoben wird, durch welche es in kräftigem Strahle ausströmt.

In der That ist es also nur der äußere Luftdruck, welcher das Wasser bis zum Ventile des Saugrohres emportreibt, weil die Luft daraus allmälig entfernt wird. Eben deshalb wird aber auch dieses Ventil niemals eine größere Höhe über dem Wasserspiegel haben dürfen, als

die einer Wassersäule, welcher der Luftdruck das Gleichgewicht zu halten vermag. Aber selbst diese Höhe von 32 Pariser Fuß wird selten oder nie zu erreichen sein, und in den meisten Fällen wird man sich mit einer Hebung von 24 Fuß begnügen müssen, weil weder Kolben noch Ventile je so genau schließen, daß sich alle Luft aus der Röhre entfernen ließe, und weil ohnedies das Wasser selbst noch Luft genug enthält, die es mit sich in diesen Raum bringt. Der Stiefel einer solchen Pumpe kann natürlich jede beliebige Länge haben; freilich wird man auch für die Kraft zu sorgen haben, welche bei vermehrter Höhe der Wassersäule zum Heben derselben erforderlich ist.

Fig. 46.

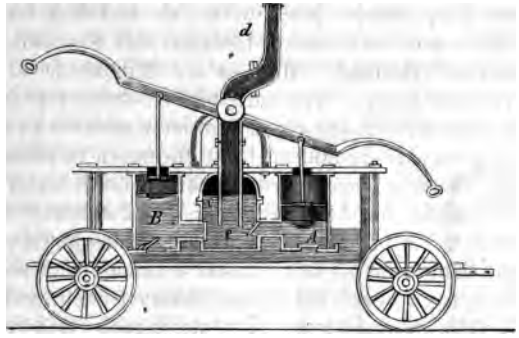


Wo es darauf ankommt, Wasser auf größere Höhen zu heben, pflegt man die Pumpe in einer etwas veränderten Einrichtung als Druckpumpe anzuwenden. Hier ist statt der Ausgußröhre seitwärts und dicht über dem Bodenventile ein besonderes Steigrohr c (Fig. 46) angebracht, und statt in dem Kolben befindet sich in diesem Steigrohre ein Ventil n, das sich nur nach oben öffnet und daher das von dem niedergehenden Kolben gepreßte Wasser wohl in das Steigrohr hinaufsteigen läßt, ihm aber bei aufwärts gehendem Kolben den Rücktritt versagt. Auf diese Weise gelangt das Wasser in einen nach unten völlig abgesperrten Raum und kann in diesem bis zu beliebiger Höhe, selbst von mehreren 100 Fuß, angehäuft werden, wofern nur die genügende Druckkraft zu seiner Hebung zu Gebote steht. Das Saugrohr darf auch hier freilich die durch das Naturgesetz bedingte Höhe von 32 Fuß nicht überschreiten.

Eine einfache Anwendung dieser Druckpumpe sehen wir in der kleinen Handspritze, welcher sich die Gärtner zum Begießen ihrer Rasenplätze zu bedienen pflegen. Hat man sie in einen Eimer mit Wasser gestellt, so wird zuerst durch den Kolben das Wasser aufgesogen und dann durch einen kräftigen Druck desselben durch ein kleines Steigrohr in die Höhe getrieben, dessen Mündung mit einem feinen Siebe versehen ist, um den Strahl in einen feinen Sprühregen zu verwandeln.

Während bei den Pumpenwerken es die Verdünnung der Luft ist, durch welche das Wasser emporgehoben wird, sehen wir bei der Feuerspritze verdichtete Luft das Wasser austreiben. Allerdings sind auch hier zwei Druckpumpen A und B (Fig. 47) thätig, deren Kolben, durch einen gemeinschaftlichen Hebel auf und nieder bewegt, das Wasser des Spritzenkastens in den mittleren Raum C treiben. Der Druck dieser Pumpen würde freilich nicht hinreichen, einen kräftigen, überdies ununterbrochen, nicht stoßweise fließenden Strahl aufsteigen zu lassen. Dies geschieht vielmehr durch die besondere Einrichtung des mittleren Raumes, des sogenannten Windkessels C. Es ist ein starker, oben kesselförmig gewölbter Cylinder, durch welchen von oben her eine unten offene Röhre e fast bis auf den Boden hinabführt. In diesen Kessel münden die Ausflußröhren der beiden Druckpumpen, und ihre nur nach innen sich öffnenden Ventile verhindern das eingeströmte Wasser, wieder in die Pumpen zurückzutreten. Natürlich steigt nun das Wasser in dem Kessel empor und verschließt so die untere Oeffnung der in ihn hinabgehenden Röhre. Der Luft, welche in dem oberen Raume des Kessels zurückbleibt, wird dadurch der Ausgang versperrt, und da immer von Neuem Wasser aus den Pumpen in den Kessel getrieben wird, so wird die abgesperrte Luft auf einen immer engeren Raum zusammengedrückt, sie wird verdichtet.

Fig. 47.



Welche Wirkung diese verdichtete Luft ausüben muß, zeigt schon ein einfaches Spielzeug der Knaben, die aus einem Hollunderschößling bereitete Knallbüchse. Auch hier wird Luft verdichtet, da das eine Ende des Hollunderrohres zuvor durch einen weichen Korkpfropfen oder ein Stückchen Kartoffel verschlossen ist, und dann vom andern Ende her ein zweiter Pfropfen durch einen Stempel gewaltsam hineingetrieben wird.

Die verdichtete Luft entfaltet nun ihre Spannkraft, die zugleich mit der Verdichtung wächst, bis sie endlich den Pfropfen mit einem Knalle hinausschleudert. Auch das Blasrohr der Knaben beruht auf einer ähnlichen Wirkung verdichteter Luft. Indem mit dem Munde die Luft in das Rohr geblasen wird, wird diese verdichtet, und je stärker sie verdichtet wird, desto weiter schleudert ihre Spannkraft den kleinen Pfeil oder die Lehmkugel. Auch in der Windbüchse ist verdichtete Luft die treibende Kraft. Nur wird hier die Luftverdichtung durch künstliches Pumpen bewirkt und erreicht darum einen weit höheren Grad, so daß die gesteigerte Spannkraft selbst Bleikugeln zu schleudern vermag.

Auch in jener in dem Windkessel der Feuerspritze eingeschlossenen Luft wächst mit der Verdichtung die Spannkraft und damit das Bestreben, die beengenden Hindernisse hinwegzuschleudern. Sie treibt das Wasser endlich in die Röhre d hinauf, und zwar mit solcher Gewalt, daß es durch den daran geschraubten Spritzenschlauch in kräftigem Strahle emporspringt. Die gleichförmig wachsende Spannung der Luft bewirkt natürlich auch einen gleichförmigen zusammenhängenden Strahl, nicht ein stoßweise bei jedem Niedergange des Kolbens erfolgendes Aufspritzen, wie bei der gewöhnlichen Handspritze.

Luftverdichtung und Luftverdünnung.

Als Torricelli in dem Luftdrucke eine neue bewegende Kraft kennen lehrte und die Unmöglichkeit nachwies, durch bloße Saugwerke und ohne Hülfe mechanischen Kolbendrucks Wasser über 32 Fuß hoch zu heben, da war es nicht blos ein Jahrtausende alter Wahn, den er zerstörte, sondern es war zugleich ein Anstoß, den er gab, von dieser neuen Kraft in ausgedehnterer Weise Gebrauch zu machen. Ueberall, wo man auf einer Seite Luft verdünnen oder auf einer andern Luft verdichten konnte, mußte man eine bewegende Kraft gewinnen. Ganz besonders aber mußte sich der Forscherdrang des Menschen angeregt fühlen, die äußersten Grenzen dieser Luftverdichtung und -Verdünnung zu erreichen zu versuchen. Das Spielzeug des Knaben gestaltet sich auf diesem Wege der Forschung zu dem wunderbarsten Werkzeuge.

Wenn der Knabe den Stempel in seine Knallbüchse stößt, so genügt es ihm, den Pfropfen unter der verdichteten Luft herausspringen zu sehen. Der Forscher verschließt aber seine Röhre und schützt sie durch starke metallene Wände vor dem Zerspringen.

Erneuern des Druckes auf die bereits verdichtete Luft bringt er es endlich dahin, die Luft auf das 10fache, 20fache, 40fache ihres früheren Raumes zusammenzudrücken. Ein solcher Druck, der dem 40fachen unserer Atmosphäre gleich ist, also 40 über einander gestellten Quecksilbersäulen von je 28 Zoll oder einer Quecksilbersäule von $93^1/_3$ Fuß Höhe entspricht, ist ein Druck von fast 6 Centnern auf jeden Quadratzoll. Die Folge dieses gewaltigen Druckes aber ist eine neue Wahrheit, eine Durchbrechung Jahrtausende alter Schranken, welche sich die menschliche Vorstellung gezogen hat, der Scheidewand zwischen Festem, Flüssigem und Luftförmigem.

Wir wissen es allerdings längst, daß die meisten festen Körper auf der Erde in einem gewissen Sinne verdichtete, festgewordene Luft umschließen. Der schönste und gefeierteste unserer Baustoffe, der Marmor, dessen Kunstwerke Jahrtausende hindurch dem Verfalle getrotzt haben, besteht seinem Gewichte nach nur etwa zur Hälfte aus wirklich festem Stoffe. Ein einziger Marmorblock von 1 Cubikfuß Rauminhalt schließt 222 Cubikfuß Luft in sich. Es würde uns übel ergehen, wenn es all dieser rings um uns verdichteten Luft einmal gefallen sollte, ihre Fesseln zu sprengen. Alle Werke der Menschenhand fast würden in Trümmer zerfallen, und der Boden unter unsern Füßen selbst in Luftgebilde zerfließen; denn auch dieser Boden, auf dem wir wandeln, auch die stolz in die Luft aufragenden Berg- und Felsengipfel sind zum großen Theile aus gefangener Luft gebaut. Uebrigens ist unser eigener Leib ja gleichfalls wesentlich aus Luft und Asche erzeugt, wie er in Luft und Asche zerfällt; wir nähren uns im eigentlichen Sinne fast nur von Luft, da alle unsere Nahrungsmittel höchstens zwischen 2 bis 57 Tausendtheilen fester Bestandtheile enthalten.

Wie es die Natur anfängt, so ungeheuere Mengen der verschiedensten Luftarten in den Körpern festzumachen, wissen wir nicht. Wir wissen nur, daß es durch die chemische Verwandtschaftskraft geschieht. Wir haben auch erst in sehr neuer Zeit angefangen, von dieser verdichtenden Kraft einen umfassenden Gebrauch zu machen. Unsere Brausepulver, die Chlorgas- und Salzsäurebereitung in den chemischen Fabriken, die Ammoniakgewinnung sind dafür Beweise. Wir haben sogar früher gelernt, die Gewalt zu benutzen, mit welcher die gefangenen Gase bei plötzlicher Lösung ihrer Fesseln sich befreien. Die bekannte Wirkung des Schießpulvers bezeugt es. Welche Fülle von Luft aber oft in kleinen Mengen fester Stoffe steckt, ist den Wenigsten bekannt. Ein einziges Loth doppeltkohlensauren Natrons enthält

247 Cubikzoll oder fast 4 preuß. Quart luftförmiger Kohlensäure. Aus einem einzigen Pfunde Kochsalz können wir 3 Cubikfuß Chlorgas darstellen. Ein Pfund Schießpulver liefert bei seiner Verbrennung $1^1/_7$ Cubikfuß Stickstoffgas und $3^3/_4$ Cubikfuß Kohlensäure, die in der Hitze von 300 °C. sogar den doppelten Raum, also von fast 10 Cubikfuß einnehmen.

Aber auch die Flüssigkeiten vermögen solche luftige Gefangene einzuschließen, und hier ist nicht einmal immer die chemische Verwandtschaftskraft erforderlich, diese Gewalt zu üben. Es ist bekannt, daß Quellwasser und stehendes Wasser immer eine gewisse Menge atmosphärischer Luft in sich birgt, die beim Erwärmen in perlenden Bläschen emporsteigt. Bei einer Temperatur von 0 ° und unter einem mittleren Luftdrucke von 28 Par. Zoll vermag das Wasser nach Bunsen's Versuchen $1,_8$ Proc. atmosphärische Luft, $1,_5$ Proc. Stickstoff, $3,_2$ Proc. Sauerstoff und fast 86 Proc. Kohlensäure dem Raumumfange nach aufzunehmen. Weit größer aber sind die Mengen, welche das Wasser von verschiedenen andern Luftarten verschluckt. Von schwefeligsaurem Gase vermag es das 43fache, von salzsaurem Gase das 516fache, von Ammoniakgas das 780fache seines eigenen Volumens in sich aufzunehmen, und dies Absorbtionsvermögen wächst sogar noch bei zunehmendem Drucke, und zwar im Verhältniß des Druckes. Bei einem Drucke von 10 Atmosphären, d. h. einer Quecksilbersäule von 280 Par. Zoll Höhe entsprechend, vermag das Wasser die 10fache Menge der unter gewöhnlichen Umständen verschluckten Luftarten in sich aufzunehmen. Die als Säuerlinge oder Sauerbrunnen bekannten Quellen verdanken ihren Reichthum an Kohlensäure einem solchen, im Innern der Erde ausgeübten Drucke, und die menschliche Kunst hat sie nachgeahmt mit Hülfe der bekannten Liebig'schen Krüge. Ein solcher Liebig'scher Apparat (Fig. 48) ist ein gewöhnlich aus Steinzeug verfertigter Krug, der durch eine Scheidewand in zwei ungleiche Räume getheilt ist. Der obere größere Raum enthält die mit Kohlensäure zu sättigende Flüssigkeit, in dem unteren wird die Kohlensäure aus einem Gemisch von Weinsäure und doppeltkohlensaurem Natron entwickelt. Von hier gelangt sie durch die feinen Löcher der Scheidewand in den oberen Raum und wird dort von der Flüssigkeit verschluckt. Der Druck, welcher durch die große Menge der in dem engen Raume entwickelten Kohlensäure bewirkt wird, ist ein ziemlich bedeutender. Es genügen 14 Gramme Weinsäure und 16 Gramme (noch nicht 1 Loth) doppeltkohlensaurem Natrons, um eine Gasmenge frei zu machen, die etwa

Fig. 48.

den 4fachen Raum der vorhandenen Flüssigkeit beansprucht. Dieser Druck ist es auch, der beim Oeffnen des Ventils durch einen Druck auf den oberen Knopf die Flüssigkeit durch die bis nahe auf den Boden gehende Röhre mit Gewalt heraustreibt.

Auch andere Flüssigkeiten, als das Wasser, selbst geschmolzene Metalle besitzen übrigens diese Fähigkeit, Gase zu verschlucken. Beim geschmolzenen Silber ist es z. B. der verschluckte Sauerstoff, der das bekannte Spritzen beim Erkalten desselben veranlaßt, — eine Erscheinung also, die mit dem Moussiren unserer Sauerwässer in gleicher Linie steht.

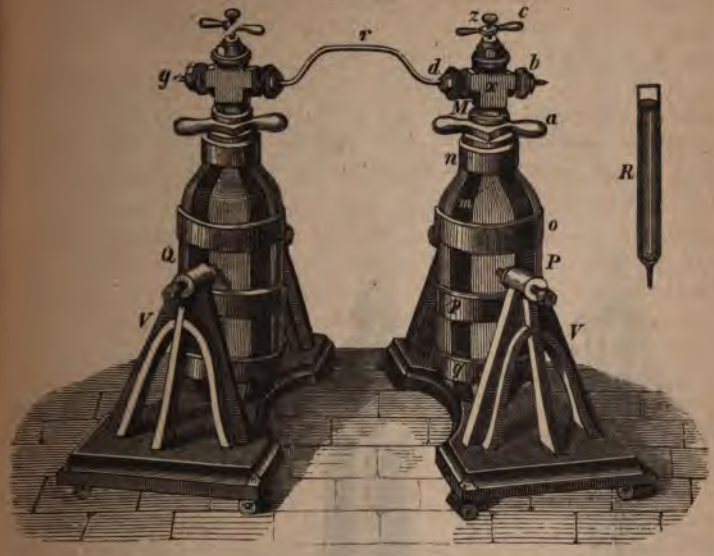
Man hat lange geglaubt, daß gewisse Luftarten in keiner andern Weise, als durch ihre chemische Verbindung mit andern Stoffen, oder wenn sie von Flüssigkeiten verschluckt werden, in den flüssigen oder festen Zustand übergeführt werden könnten, und man hat darum solche für sich stets luftförmig bleibende Gasarten von den Dämpfen, die auch die flüssige oder selbst feste Form annehmen können, scheiden zu müssen geglaubt. Man hat ebenso dafür gehalten, daß es gewisse, absolut feste Körper gebe, die niemals flüssig oder fest werden könnten. Kohle

zu schmelzen oder zu verflüchtigen, hat in der That noch heute kein Naturforscher fertig gebracht; wohl aber ist es ihm gelungen, andere sonst für eben so unschmelzbar gehaltene Substanzen, wie Thonerde und Kalk zu schmelzen. Gerade so hat auch noch Niemand die atmosphärische Luft flüssig oder fest zu machen vermocht; aber bei andern Gasen ist diese Verwandlung geglückt, und die Zahl der nicht fest zu machenden Gase verringert sich immer mehr. Nur der Sauerstoff, der Wasserstoff, der Stickstoff, das Stickstoffoxyd und das Kohlenoxyd haben bis jetzt allen Anstrengungen, sie zu tropfbaren Flüssigkeiten zu verdichten, hartnäckig widerstanden. Daß auch sie einst den siegreichen Waffen der Wissenschaft unterliegen werden, ist kaum noch zweifelhaft. So wird eine Zeit kommen, in der es keine Luft mehr giebt, sondern nur noch feste Körper, die unter Umständen die Form von Dämpfen angenommen haben.

Das erfolgreichste Mittel, welches zur Luftverdichtung angewandt wird, ist kräftiger Druck in Verbindung mit Kälte. Dem berühmten Faraday gelang es zuerst, einige Gase flüssig zu machen. Er bediente sich dazu einer gekrümmten Röhre von starkem Glase, in welche er Substanzen einschloß, die durch ihre chemische Wechselwirkung das Gas entwickeln, das er verdichten wollte. In dem einen Schenkel dieser Röhre befand sich die gasentwickelnde Substanz, in dem andern, mit einer künstlichen Kalkmischung umgebenen wurde das Gas theils durch die starke Abkühlung, theils durch den Druck, den es durch seine Einschließung erlitt, verdichtet. Dieser Druck konnte eine Höhe von 40 bis 50 Atmosphären erreichen, und er genügte, um Kohlensäure in eine Flüssigkeit zu verwandeln.

An die Stelle dieses einfachen Apparates hat die fortschreitende Wissenschaft bald künstlichere und wirksamere gesetzt. Ein solcher ist der von Thilorier construirte, später von Deleuil verbesserte (Fig. 49). Er besteht aus zwei gleichen, um horizontale Axen drehbaren, gußeisernen Cylindern, deren Festigkeit noch durch starke, schmiedeeiserne Schienen und Reifen erhöht wird. An dem oberen Theile jedes Cylinders ist ein Hahn M festgeschraubt, welcher senkrecht durchbohrt ist und in zwei horizontale Canäle ausläuft, deren abwechselnd schließbare Oeffnungen b und d mit dem Innern des Cylinders in Verbindung gesetzt werden können. Der eine dieser Cylinder wird zur Erzeugung, der andere zur Verdichtung des Kohlensäuregases benutzt. Zur Erzeugung von Kohlensäure bringt man nach Entfernung des Hahnes M in das Innere des einen Cylinders, das etwa 6 Litre (5,7 Quart) faßt,

Fig. 49.



1800 Gramme ($5^3/_5$ Pfd.) doppeltkohlensaures Natron, 3 Litre ($2^1/_8$ Quart) bis auf 39 ° C. erwärmtes Wasser und 1 Kilogramm (2 Pfd.) Schwefelsäure, letztere in einem stehenden Kupferrohre befindlich. Nachdem der Hahn wieder befestigt und geschlossen ist, wird der Cylinder langsam hin- und hergewiegt, so daß die Schwefelsäure allmälig ausfließt und sie nun ihre zersetzende Wirkung auf das kohlensaure Natron ausüben kann. Nach etwa 7 Minuten ist diese Zersetzung vollendet, die Kohlensäure ist erzeugt und befindet sich wegen des gewaltigen Druckes, den diese im freien Zustande einen Raum von 24 Cubikfuß erfüllende Gasmenge in diesem engen Raume ausübt, eines Druckes, der auf 50 Atmosphären geschätzt wird, bereits in flüssigem Zustande. Setzt man nun diesen Apparat durch ein kupfernes Rohr mit dem zweiten Cylinder in Verbindung, so destillirt die Kohlensäure über und verdichtet sich abermals durch den eigenen Druck. Man erhält so ungefähr 2 Litre ($1^3/_4$ Quart) flüssiger Kohlensäure. Diese aber wird vollends zum Gefrieren gebracht, also in feste Kohlensäure verwandelt, sobald man sie an die Luft ausströmen läßt. Sie geht

dabei zwar zum Theil wieder durch Verdampfung in den gasförmigen Zustand über; aber durch die dabei, wie bei jeder Verdunstung, entstehende Kälte wird die übrige ausströmende Flüssigkeit so abgekühlt, daß sie zu weißen, schneeähnlichen Flocken erstarrt.

Ist es bei diesem Apparate der eigene Druck des Kohlensäuregases, welcher seine Verdichtung bewirkt, so hat man bei andern Gasen zu einem künstlichen Drucke seine Zuflucht genommen. Ein solcher wird bei dem Natterer'schen Apparate (Fig. 50) durch eine Druckpumpe

Fig. 50.

bewirkt, die an den unteren Theil eines überaus kräftigen, schmiedeeisernen Behälters angeschraubt wird. Das zu verdichtende Gas wird aus einem kleinen Gasometer R in die Druckpumpe geleitet und durch diese in den Behälter A getrieben, der durch eine Umgebung von Eis gegen die Folgen der bei Verdichtung des Gases sich entwickelnden Hitze geschützt ist. Trennt man diesen Behälter von der Pumpe, so wird das untere Ventil desselben durch den Druck des Gases geschlossen, während bei einer Oeffnung des Hahnes r das flüssige Gas ausströmt.

Eine der interessantesten Verdichtungen, die mit Hülfe dieses Apparates bewirkt wird, ist die Verdichtung des Stickstoffoxyduls, eines in ähnlicher Weise, wie der Sauerstoff, die Verbrennung unterhaltenden Gases. In flüssigem Zustande verdampft es außerordentlich langsam und hält sich dabei beständig in einer Temperatnr von 78 ° unter dem Gefrierpunkte. Bei —100 ° erstarrt es in farblosen Krystallen. Ebenso wird es beim Ausströmen an die Luft durch die Verdichtungskälte zum Theil in weiße Schneeflocken verwandelt. In allen diesen Zuständen bewährt es seine Eigenschaft, die Verbrennung zu unterhalten, in glänzender Weise. Splitterchen glühender Holzkohle verbrennen mit blendendem Glanze auf demselben seltsamen Körper, welcher Wasser, Alkohol, Quecksilber augenblicklich zum Gefrieren bringt.

Ist man so auf der einen Seite dahin gelangt, die Luft zu festen Körpern zu verdichten, wahrhafte Luftsteine oder Luftkrystalle zu erzeugen, so drängte es auch nach der andern Seite hin, die Luftverdünnung bis an die Grenzen des Möglichen zu verfolgen.

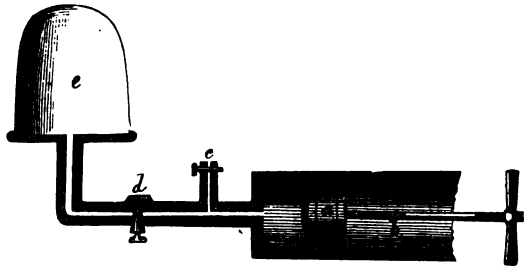
„Wir sahen bisher die Luftverdünnung, sei es durch Saugen mit dem Munde, oder mit Hülfe einer Saugpumpe, nur in der Absicht bewirkt, um eine Flüssigkeit in Folge des verminderten Druckes zu veranlassen, aufwärts zu strömen. Hindert man aber die Flüssigkeit, in den Raum, aus welchem man die Luft ausgesogen, einzudringen, verschließt man überhaupt diesen Raum vorsichtig selbst vor dem Zutritte neuer Luft, und setzt man das Aussaugen fort, so gelingt es, dieselbe Luft, die wir vorher auf den 40sten und selbst 100sten Theil ihres Raumumfanges zusammenpressen sahen, jetzt über den 200fachen Raum auszudehnen. Es wird in dieser Weise ein Raum hergestellt, in welchem kaum noch eine Spur von jenem Elemente zu entdecken ist, in dem wir leben und athmen. Keine Flamme brennt hier, kein Thier athmet hier noch. Der fallende Stein findet hier keinen Widerstand mehr; die Feder und der Stein fallen hier gleich schnell. Die Quecksilbersäule

des Barometers wird hier nicht mehr getragen, sie sinkt bis auf wenige Linien herab. Aber von außen drückt die Luft mit gewaltiger Kraft auf die diesen Raum umschließenden Wände. Der Kaiser und die Fürsten des Reichs mußten darum wohl in gerechtes Erstaunen gerathen, als der Bürgermeister von Magdeburg, Otto von Guericke, ihnen auf dem Reichstage zu Regensburg im Jahre 1654 zwei genau an einander gepaßte hohle Halbkugeln von Kupfer zeigte, welche, wenn er die Luft herausgepumpt hatte, 24 Pferde nicht im Stande waren, von einander zu reißen.

Der Weg, auf welchem man zu diesem Wunder gelangte, das dem Lieblingstraume der alten Naturphilosophen, dem absolut leeren Raume, so nahe kommt, ist leicht ersichtlich. Man denke sich zunächst statt der hölzernen Brunnenröhre einen starken metallenen Cylinder, in welchem ein luftdicht schließender Kolben oder Stempel sich auf und nieder bewegen kann. Man denke sich dann statt des Wasserbeckens, aus welchem die Saugpumpe das Wasser emporzieht, eine Glasglocke, die, sich luftdicht anschließend, auf einer metallenen Scheibe steht und durch ein enges Rohr mit dem erwähnten Cylinder verbunden ist. Durch jedes Emporziehen des Kolbens muß, da es den Raum erweitert, auch die Luft in Cylinder und Glocke verdünnt werden, und um die Verdünnung fortzusetzen, ist nur dafür Sorge zu tragen, daß beim Niederdrücken des Kolbens die Luft nicht wieder in denselben Raum zurückgetrieben werde, aus welchem sie eben ausgesogen wurde, mit andern Worten, daß der Druck des niedergehenden Kolbens möglichst wirkungslos gemacht werde. Dies kann nur dadurch erreicht werden, daß man entweder die bei der Verengerung des Raumes durch den niedergehenden Kolben überflüssig werdende Luft entweichen läßt, oder daß man die bereits verdünnte Luft unter der Glocke so absperrt, daß sie von dem Drucke des Kolbens nicht berührt wird. Jenes, das Entweichen der überflüssigen Luft, kann durch ein sich nach oben öffnendes Ventil in dem Kolben, dieses, das Absperren des luftverdünnten Raumes der Glocke, durch einen Hahn in der Verbindungsröhre bewirkt werden.

So steht die Luftpumpe (Fig. 51) in ihrer einfachsten Gestalt vor uns. In dem hohlen Metallcylinder haben wir jetzt den Stiefel (b) mit seinem Kolben (a), in der Glasglocke den Recipienten (e), der auf dem Teller steht und durch die Verbindungsröhre mit dem Stiefel verbunden ist. Beim Ausziehen des Kolbens wird natürlich die Luft des Recipienten in den Stiefel aufgesogen und dadurch verdünnt. Daß sie beim Niedergange des Kolbens nicht wieder in den

Fig. 51.



Recipienten zurücktrete, wird durch Ventile oder durch Hähne bewirkt, und man unterscheidet danach Ventil- oder Hahn-Luftpumpen.

Bei der Ventil-Luftpumpe ist der Kolben durchbrochen und durch ein sich nach oben öffnendes Ventil verschlossen, während ein anderes, gleichfalls nach oben in den Stiefel sich öffnendes Ventil die Verbindungsröhre schließt. Beim Emporziehen des Kolbens wird natürlich sein Ventil durch den äußeren Luftdruck geschlossen, während die sich ausdehnende Luft des Recipienten das Bodenventil öffnet. Beim Niedergange des Kolbens dagegen schließt die zusammengepreßte Luft des Stiefels das Bodenventil, indem sie zugleich nach oben durch das geöffnete Kolbenventil entweicht. So wird hier in der That mit jedem Kolbenzuge die Luft in dem Recipienten verdünnt, gerade wie bei der Saugpumpe mit jedem Kolbenzuge das Wasser in dem Bassin vermindert wurde.

Bei der Hahn-Luftpumpe ist der Kolben massiv, aber ein Hahn (d) verschließt den Weg zum Recipienten, während ein anderer Hahn (c) die Verbindung nach außen herstellt, so daß beim Niedergange des Kolbens die Luft nicht in den Recipienten zurücktreten, sondern nur nach außen entweichen kann. Beim Aufgange des Kolbens wird die Stellung der Hähne verändert und bewirkt nun das Entgegengesetzte, öffnet den Recipienten, so daß die darin enthaltene Luft aufgesogen werden kann, schließt dagegen die äußere Luft ab. Natürlich lassen sich auch beide Hähne in einen einzigen vereinigen, der dann so eingerichtet sein muß, daß er in der einen Stellung den Weg zum Recipienten verschließt und den Weg nach außen öffnet, in der andern Stellung das Umgekehrte leistet.

Die einfache Gestalt, in welcher die Luftpumpe zuerst vor das schaulustige Publicum und in die Cabinette der Physiker trat, liegt noch

unseren heutigen verfeinerten und vervollkommneten Maschinen zu Grunde. Die allmälige Umgestaltung ging, wie aller Fortschritt, aus der Erkenntniß vorhandener Mängel hervor. Zunächst sah man sich veranlaßt, den anfangs schräg liegenden Stiefel senkrecht zu stellen, da bei der Bewegung des Kolbens der Stiefel sich ungleichmäßig abnutzte und endlich nicht mehr genau schloß. Dann erkannte man, daß die halbe Arbeit des Pumpens doch eigentlich ganz nutzlos geschah, da das Herabdrücken des Kolbens zur Verdünnung der Luft durchaus nichts beitrug. Um diese Arbeit nutzbar zu machen, wandte man zwei Stiefel zur Entleerung des Recipienten an und richtete sie so ein, daß, wenn der eine Kolben aufgezogen wurde, der andere gleichzeitig mit Hülfe einer Hebelvorrichtung niedergedrückt wurde. Da machte sich aber ein neuer Uebelstand bemerklich. Man beabsichtigte ja, die Luftverdünnung bis zur äußersten Grenze zu treiben, wo möglich den luftleeren Raum selbst herzustellen. Wie vortrefflich auch die Luftpumpe gebaut, wie ängstlich auch für den luftdichten Verschluß des Kolbens und der Ventile oder Hähne gesorgt war, immer blieb doch nach allem Pumpen etwas Luft in dem Recipienten zurück, zwar von geringer Dichtigkeit, aber doch immer noch von hinreichender Spannkraft, um selbst unter den günstigsten Verhältnissen einer Quecksilbersäule von 1 oder gar 2 Linien Höhe das Gleichgewicht zu halten. Offenbar rührte diese Luft daher, daß der Kolben nie so dicht auf den Boden der Stiefelröhre niedergedrückt werden konnte, daß wirklich alle Luft, die sich darin befand, ausgetrieben wurde. Bei den Ventil-Luftpumpen versagte überdies die Luft bei einem gewissen Grade der Verringerung ihrer Spannkraft den Dienst, die Ventile in Bewegung zu setzen, während bei den Hahn-Luftpumpen mindestens in der engen Verbindungsröhre bis zu dem Hahne, welcher sie verschloß, ein kleiner Raum übrig blieb, in welchen der Kolben nicht eindringen konnte, und welcher daher stets etwas weniger verdünnte Luft behielt. Diesen sogenannten „schädlichen Raum" hat man zwar durch allerlei künstliche Vorrichtungen möglichst zu beseitigen gesucht. Aber es ist doch nicht gelungen, die Verdünnung der Luft in's Unbegrenzte zu treiben, und selbst eine 1000fache Verdünnung, welche einem Barometerstande von $^1/_3$ Linie entspricht, vermögen kaum die besten Luftpumpen hervorzubringen.

Von welcher Wichtigkeit die Erfindung der Luftpumpe auch für die Wissenschaft selbst sein mochte, nur in seltenen Fällen ist es ihr gelungen, sich eine Bedeutung auch im öffentlichen und praktischen Leben zu erringen, wie es doch dem Anscheine nach der bedeutende

Druck, welchen die äußere atmosphärische Luft gegen einen luftverdünnten Raum auszuüben vermag, erwarten lassen sollte. Eine einzige sinnreiche Anwendung hat in neuerer Zeit die allgemeine Aufmerksamkeit erregt, die sogenannte atmosphärische Eisenbahn. Hier ist es in der That der Kolben einer langen gußeisernen Röhre, welcher sammt dem Wagenzuge, den er trägt, durch diese Röhre hindurchschießt, sobald die Luft in ihr mit Hülfe einer durch eine Dampfmaschine in Bewegung gesetzten Luftpumpe verdünnt ist. Wie die Erfahrung gelehrt hat, ist gar nicht einmal ein sehr hoher Grad von Verdünnung erforderlich, um den Kolben zu treiben. Schon bei einer Verdünnung, welche ein Sinken der Barometersäule nur um 3 Zoll hervorbringt, beträgt der Druck der inneren verdünnten Luft nur noch $2^1/_2$ Pfund auf den Quadratzoll, so daß für den äußeren Druck auf den Kolben immer noch $12^1/_2$ Pfund auf den Quadratzoll, also 1800 Pfund auf den Quadratfuß übrig bleiben. Die schwierigste Aufgabe war jedenfalls, diese Kraft ungeschwächt, die Treibröhre also möglichst luftdicht geschlossen zu erhalten, und doch der Stange, welche den Kolben nach außen mit dem Wagen verbindet, den freien Durchgang durch die Röhre zu gestatten. Dies ist dadurch einigermaßen erreicht worden, daß man den Spalt, durch welchen jene Verbindungsstange sich bewegt, mit Lederklappen luftdicht verschloß, die durch kleine, an der Kolbenstange angebrachte Räder emporgehoben und dann durch ein über sie fortlaufendes kleines Rad des Wagens wieder niedergedrückt, zugleich aber aus einer Rinne mit geschmolzenem Wachs übergossen werden, so daß sie wieder luftdicht schließen, wenn für den nächsten abgehenden Wagenzug eine neue Luftverdünnung der Treibröhre nöthig wird.

Abgesehen von dieser Anwendung der Luftpumpe zur Bewegung von Wagenzügen, die auch nur vereinzelt in Irland besteht, finden wir diesen vielbewunderten Apparat der Schule nirgends im Dienste des öffentlichen Verkehrs oder der Gewerbe. Selbst aus unsern Rübenzuckerfabriken ist sie seit Jahren bereits verschwunden. Hier fand sie eine Zeit lang Eingang, um durch die Entfernung der Luft und die niedrige Temperatur, bei welcher sie das Sieden gestattete, die schädlichen Einwirkungen fremder Stoffe auf den Zucker einigermaßen zu mindern und dadurch die Ausbeute an Zucker zu erhöhen. Allein die Kosten, welche sie besonders durch die Heizung und Speisung der sie in Bewegung setzenden Dampfmaschine in Anspruch nahm, zeigten sich bald in einem so ungünstigen Verhältnisse zu ihren Vortheilen, daß man darauf denken mußte, sie zu entfernen. Schon seit etwa 30 Jahren

erreicht man jene Luftverdünnung, die in der That des verminderten Druckes wegen das Sieden oder die Verdampfung der Zuckerflüssigkeit erleichtert und befördert, in viel einfacherer Weise durch die Eigenschaft eines Dampfstromes, sich beim Ausströmen aus einer engen Oeffnung bedeutend auszubreiten.

Die wichtigste Anwendung, welche in der Wissenschaft von der Luftpumpe gemacht worden ist, ist die zur Bestimmung des specifischen Gewichts der atmosphärischen Luft und der verschiedenen Gasarten. Zu diesem Zwecke wird ein gläserner Ballon, der mit einer messingenen Fassung versehen ist und durch einen Hahn verschlossen werden kann, auf den Teller der Luftpumpe aufgeschraubt und möglichst luftleer gemacht. Nachdem man dann den Hahn geschlossen und den Ballon auf einer empfindlichen Wage genau gewogen hat, öffnet man den Hahn wieder, so daß die atmosphärische Luft wieder eintritt, und wägt nun auch den lufterfüllten Ballon. Der Unterschied beider Gewichte ergiebt sehr annähernd das Gewicht der im Ballon enthaltenen Luft. Man hat in dieser Weise ermittelt, daß ein Cubikfuß atmosphärischer Luft bei einer Temperatur von 0° und einem Barometerstande von 28 Zoll ungefähr 40 Gramm oder $2^2/_5$ Loth wiegt. Vergleicht man dies Gewicht der Luft mit dem der gleichen Menge Wasser, so findet sich, daß die Luft 773mal leichter ist, als das Wasser.

Will man das specifische Gewicht anderer Luftarten bestimmen, so läßt man, nachdem der Ballon möglichst luftleer gemacht ist, statt der atmosphärischen Luft das zu untersuchende Gas einströmen, und wägt dann, wie vorher. Wenn dabei das specifische Gewicht der atmosphärischen Luft als Einheit angenommen wird, so ergeben sich für verschiedene Gasarten folgende specifische Gewichte:

Sauerstoffgas	= 1,10	kohlensaures Gas	= 1,52
Stickstoffgas	= 0,97	Kohlenoxydgas	= 0,97
Wasserstoffgas	= 0,07	schweres Kohlenwasserstoffgas	= 0,97
Chlorgas	= 2,47	leichtes Kohlenwasserstoffgas	= 0,56
Stickstoffoxydgas	= 1,04	Schwefelwasserstoffgas	= 1,19
Ammoniakgas	= 0,59	Phosphorwasserstoffgas	= 0,92
salzsaures Gas	= 1,25	schwefligsaures Gas	= 2,20

Der Flug des Vogels und der Luftballon.

Das lebensvolle Spiel im Ocean der Lüfte, auf dessen Boden wir mit unsern schwerfälligen Leibern gebannt sind, der Anblick der so

lustig sich tummelnden Schaaren von Insekten und Vögeln hat schon vor Jahrtausenden in dem Menschen das Verlangen erweckt, dem Vogel seine Flügel zu entlehnen, wie er längst dem Fische seine Schwimmkunst ablernte. Die Aehnlichkeit zwischen Luftmeer und Wasserocean scheint in der That auf den ersten Blick so groß, daß man meinen möchte, es könne auch kaum das Schwimmen in dem einen mit größeren Schwierigkeiten verbunden sein, als das Schwimmen in dem andern. Aber der plumpe Fall des todten Vogels lehrt uns schon, daß er doch einer besonderen Kunst bedürfen mußte, um sich in der Luft schwebend zu erhalten.

Die Bedingungen des Fluges ergeben sich sehr einfach aus den Gesetzen des Gleichgewichts. Um sich in der Luft schwebend zu erhalten, dazu bedarf es zunächst eines möglichst geringen, dem der Luft nahe kommenden specifischen Gewichts. Um sich in der Luft fortzubewegen, sind dann ferner Gliedmaßen erforderlich, die durch Streckung und Beugung den Körper vorwärts stoßen, indem sie sich gegen die Luft stützen und diese zurückschlagen. Um endlich diese Gliedmaßen gebrauchen zu können, bedarf es einer bedeutenden Muskelkraft, und um diese zu erhalten, einer kräftigen Steigerung des Lebensprocesses, insbesondere der Athmung. Die Bewohner des Luftreiches erfüllen alle diese Bedingungen in der einfachsten Weise.

Der ersten Bedingung wird bei Insekten wie bei Vögeln durch einen leichten, luftigen Bau des Körpers und zahlreiche, lufterfüllte innere Höhlungen und Röhren entsprochen. Die in den Körper eintretende Luft ist bei den Vögeln nicht blos auf die Lungen beschränkt, in welchen sich die Luftröhre verzweigt, sondern dringt durch diese noch weiter in eine Reihe von Luftzellen, die im Unterleibe und durch den ganzen Körper zerstreut liegen. Selbst das Innere der Knochen nimmt an dieser Einrichtung Theil, da es nicht mit Mark erfüllt, sondern hohl und von einer zarten Haut bekleidet ist, auf welcher sich zarte Blutgefäße verästeln. Dadurch ist nicht allein die Athmungsfläche außerordentlich vergrößert, sondern zugleich eine bedeutende Verminderung des specifischen Gewichtes bewirkt. Ueberdies sind die Rippen des Vogels mit dem Brustbeine durch starke knöcherne Zwischenstücke der Art verbunden, daß, im Gegensatze zu uns, die Brusthöhle in ihrem natürlichen Zustande sich gerade in der größten Erweiterung befindet, und die Verengerung derselben nur durch die Thätigkeit besonderer Muskeln bewirkt wird.

Wie leicht aber auch der Körper des Vogels in Folge dieser

Einrichtung sein mag, so vermöchte er sich doch nicht schwebend in der Luft zu erhalten, wenn er sich nicht durch willkürliche Bewegungen unterstützte. So gut wie der Fisch im Wasser, bedarf er der Ruder, mit denen er die Luft schlägt, um in ihrem Widerstande einen Stützpunkt für seine Aufwärts- und Vorwärtsbewegung zu erhalten. Je weniger dicht freilich das Mittel ist, in welchem ein Thier sich bewegt, desto geringer wird auch der Widerstand desselben sein, desto beträchtlichere Kraft wird also erforderlich sein, um von einem solchen Stützpunkte aus den Körper vorwärts zu stoßen. Deshalb erfordert der Flug des Vogels in der That eine weit größere bewegende Kraft, als das Schwimmen des Fisches. Aber selbst eine noch so große Kraft würde für den Flug nicht ausreichen, weil der Widerstand des den Vogel von allen Seiten umgebenden Elementes die durch den Stoß gewonnene Geschwindigkeit von der entgegengesetzten Richtung her wieder aufheben würde, wenn der Vogel nicht zugleich im Stande wäre, unmittelbar nach dem Schlage die Oberfläche seiner Ruderorgane und damit den Widerstand der Luft bedeutend zu vermindern. Darin besteht in der That das Wesen aller Flug-, wie aller Schwimmorgane, in der wechselnden Einwirkung breiter und schmaler Flächen nämlich auf das umgebende Element.

Von diesem Gesichtspunkte aus wird man sehr leicht die große Zweckmäßigkeit im Bau und Gebrauche der Vogelflügel begreifen. Ist es nur eine zwischen den verlängerten Zehen oder zwischen zahlreichen Knochenbündeln ausgespannte Haut, welche dem Fische die Flossen zum Schlagen des Wassers leiht, ist es selbst noch eine solche segelartig zu den Seiten des Körpers oder vorzugsweise an den Vordergliedmaßen entfaltete Haut, welche den fliegenden Eichhörnchen und den Fledermäusen den schwirrenden Flug durch die Lüfte gestattet, wie sie ganz ähnlich als besonderes Flugorgan, nur zarter und von hornigen Rippen unterstützt, auch bei den fliegenden Insekten auftritt; so erblicken wir bei den Herrschern des Luftreichs, den Vögeln, die breiten Luftruder in einer völlig andern Form. Hier gleicht das Flugorgan im Knochengerüste vollkommen dem menschlichen Arme, ist wie dort durch ein Schulterblatt gestützt, wie dort aus Oberarmbein, Ellenbogenbein, Speiche und Hand zusammengesetzt. Aber die Hand ist fast nur auf einen unbeweglichen Stummel beschränkt, an dessen verkümmerten Fingern die mächtigen, steifen Schwungfedern befestigt sind, während zartere und schwächere Federn das ganze Knochengerüst bekleiden.

Interessant ist es, einen Vogel zu beobachten, wenn er sich zum

Auffluge anschickt. Er hüpft erst eine Strecke am Boden fort, springt dann mit den Füßen in die Höhe und erhebt mit den Oberarmen die noch zusammengelegten Flügel. Kaum aber fühlt er die Flügel frei in der Luft, so entfaltet er sie auch, indem er Vorderarm und Hand ausstreckt. Er schwingt nun einige Male die Flügel hin und her, ganz ähnlich, wie es der Maikäfer thut, um seinen Körper mit Luft zu füllen. Endlich schwingt er sich durch einen kräftigen Schlag, auf die widerstehende Luft gestützt, empor. Er schleudert sich gleichsam wie einen in die Höhe geworfenen Körper fort und senkt darum die Flügel schnell wieder, weil es gilt, den seine Fortbewegung hemmenden Widerstand der umgebenden Luft möglichst zu vermindern. Dennoch würde dieser Widerstand im Bunde mit der Alles niederziehenden Schwerkraft auch die Geschwindigkeit allmälig wieder vernichten, welche der Vogel durch den Flügelschlag erlangt hat, und er würde abwärts sinken, wenn er nicht, ehe es dazu kommt, einen zweiten Flügelschlag folgen ließe und so der früheren Geschwindigkeit eine neue hinzufügte, um in beschleunigter Bewegung zu steigen.

Das Gewicht des schwebenden Vogels wird nun ganz von den Flügeln getragen. Sein Schwerpunkt liegt also zwischen den Schultern, und zwar möglichst tief unter ihnen. Deshalb streckt er während des Fluges Hals und Kopf gerade vor, um dem schwereren, aber kurzen Rumpfe das Gleichgewicht zu halten. Aufwärts schwingen wird er aber diesen Körper um so kräftiger, einen je größeren Widerstand er seinen Flügeln zu schaffen, je größere Luftmassen er damit zurückzuschlagen vermag. Vögel mit langen Flügeln werden darum nicht nur schneller fliegen, als solche mit kurzen, sondern sich auch länger in der Luft zu erhalten vermögen, weil sie durch die minder häufig erforderten Wiederholungen der Flügelbewegung auch minder schnell ermüden. Jene berühmten Segler der Lüfte, die hoch über den Schneegipfeln der Alpen schweben oder Tage lang über das Meer hinausschweifen, Adler, Albatrosse, Fregattenvögel, sie sind darum schon kenntlich an den langen, kräftigen Schwingen ihres schmalen Körpers, während die kurzen, abgestutzten Flügel der Hühner- und Laufvögel sie schon äußerlich als matte und zaghafte Flieger bezeichnen.

Daß die wenigsten Vögel sich senkrecht in die Lüfte emporzuheben vermögen, daß sie meist im Zickzack und in weiten Kreisen hin- und herfliegen, liegt an der Stellung ihrer Flügel. Die schiefe Neigung derselben nach hinten gestattet ihnen nur eine schief aufwärts steigende Richtung des Fluges, um so mehr, je länger und spitzer die äußersten

Schwungfedern sind. Nur mit Hülfe ihrer kräftigen, breiten Schwanzfedern, deren sie sich wie eines Steuerruders bedienen, wissen manche Vögel die schiefe Richtung ihres Fluges zu mindern und namentlich gegen den Wind selbst ein senkrechtes Aufsteigen zu ermöglichen.

Daß sich der Mensch nicht gleich dem Vogel in die blauen Lüfte erhebt, trotzdem er doch dem Fische sein Element streitig zu machen und den Winden zuvor, von Dampf getrieben, über Länder und Meere zu eilen weiß, erklärt sich jetzt aus seiner Schwere und Massenhaftigkeit. Selbst in dem 773mal schwereren Wasser vermag er sich ja nur durch kräftige Bewegungen schwebend zu erhalten. Besäße er nun aber auch mächtige Flügel, durch deren Schlag er sich in der dünnen Luft ähnliche Widerstände bereiten könnte, wie durch den Schlag der Arme im dichten Wasser, wo nähme er die Muskelkraft her, um diese Flügel zu bewegen? Ehe man den künstlichen Bau des Vogels und seine gewaltige Muskelkraft kannte, glaubte man allerdings wohl, die mythischen Träume des Alterthums verwirklichen zu können, und übersah über solchen, allem Naturgesetze spottenden Phantasien die Mittel, welche die Wirklichkeit bot.

Das Luftreich erschließt sich dem Menschen nur, wenn er das Gewicht seines Körpers so verringern kann, daß die Luft ihn zu tragen vermag. Das eiserne Schiff schwimmt auf dem Wasser ja auch nur deshalb, weil der große lufterfüllte Raum, den es umschließt, ihm ein geringeres Gewicht giebt, als die von ihm verdrängte Wassermasse besitzt. Dasselbe Naturgesetz besteht aber auch für die Luft. Es gilt also, einen so leichten Stoff aufzusuchen, der durch sein geringes Gewicht die Schwere des Menschenleibes auszugleichen und ihn in der Luft in ähnlicher Weise, wie die vom Eisen des Schiffes umhüllte Luft im Wasser, zu tragen vermag.

Im Jahre 1766 machte Cavendish die Welt mit einer Luftart bekannt, welche dieser Forderung, wenn auch nicht in dem gleichen Verhältnisse, wie die Luft dem Wasser gegenüber, doch immer in unerwartetem Grade genügte. Es war das Wasserstoffgas, welches sich als 13½mal leichter, als die atmosphärische Luft erwies. Eine mit solchem Gase gefüllte Blase mußte, wenn das eigene Gewicht der Blase nicht zu bedeutend war, in der Luft ebenso gut schwimmen, wie die mit Luft gefüllte Blase im Wasser. Das wußte man auch bereits in den Siebenziger Jahren des vorigen Jahrhunderts; aber Niemand dachte daran, es im Großen anzuwenden. Wie so oft in der Geschichte der Erfindungen, führte auch hier das unvollkommene Mittel schneller zum

Ziele, als das vollkommenere. Man hatte längst den warmen Rauch aufsteigen, längst die Seifenblasen, die das Kind mit dem warmen Hauche seines Mundes aufbläst, emporschweben sehen. Jetzt erinnerte man sich dessen und schloß, daß auch die erwärmte Luft leichter sein müsse, als die kalte. Freilich ist das nur in einem geringen Verhältnisse der Fall, die erwärmte Luft ist kaum um $^1/_3$ leichter, als die kalte, und es bedarf daher einer sehr großen Menge solcher Luft, um einen Ballon von nur einigem Gewichte zu heben. Dafür freilich ist die erwärmte Luft auch leichter herzustellen, als das Wasserstoffgas.

Fig. 52.

Der erste Luftballon, der sich am 5. Juli 1783 vor den Augen des erstaunten Volkes zu Annonay in Frankreich in die Lüfte erhob, war daher ein leinener Sack von 35 Fuß Durchmesser, dessen Luft durch Strohfeuer erwärmt und verdünnt wurde. Die Gebrüder Montgolfier waren die sinnreichen Erfinder dieses Luftschiffes (Fig. 52). Kaum aber war dieser erste Schritt geschehen, so ward auch dem viel leichteren Wasserstoffgase seine verdiente Anerkennung. Am 27. August desselben Jahres stieg der erste mit Wasserstoffgas gefüllte Ballon unter Leitung des Physikers Charles vom Marsfelde zu Paris in die Wolken. Noch in demselben Jahre, am 15. October, erhob sich in einer dem Ballon angehängten Gondel der erste kühne Luftschiffer, leider aber auch der erste unglückliche Märtyrer dieser neuen Flugkunst, Pilatre de Rozier, in die Lüfte. Seitdem sind viele Hunderte bereits auf diesen

Schiffen durch die Wolken gesegelt, über Meere und Berge hin, viele Meilen weit und hoch über die letzten Regionen der Vogelwelt, bis zu Höhen von vielleicht mehr als 30,000 Fuß. Die Wissenschaft hat sich ihrer bedient, um die Geheimnisse des Luftkreises zu erforschen, die Kriegskunst hat sie in ihren Dienst genommen, um feindliche Stellungen zu recognosciren und militairische Signale zu verbreiten. Aber auch Opfer hat diese neue Kunst bereits in großer Menge gefordert. Die Ballons verbrannten oder zerrissen im Sturme, oder wurden auf das Meer verschlagen, und die kühnen Schiffer und Schifferinnen — denn selbst Frauen wagten sich in die fremden Höhen — fanden den Tod.

So hat sich der Mensch in der That den leichten Vogelleib geschaffen, das Schiff gebaut für die Region der Wolken, aber freilich ein leckes, gebrechliches Schiff. Allerdings ist es ein Schiff, das auf diesen dünnen Fluthen zu schwimmen, das selbst schwere Lasten auf dem Rücken der Luftwellen hoch über die Berge dahin zu tragen vermag. Solch ein Ballon, mit unreinem Wasserstoffgase gefüllt, wie der berühmte Coxwell'sche von 65 Fuß Höhe und 125 Fuß Umfang, also etwa 54,000 Cubikfuß Rauminhalt, würde, das Gas nur 7mal leichter als die atmosphärische Luft, und das Gewicht der Wachstaffethülle auf $1^1/_2$ Loth für den Quadratfuß gerechnet, ungefähr 1100 Pfund wiegen. Aber das Gewicht der atmosphärischen Luft, welche dieser Ballon aus der Stelle verdrängt, würde, den Cubikfuß zu $2^1/_2$ Loth gerechnet, über 4500 Pfund betragen. So bliebe dem Ballon immer noch die bedeutende Tragkraft von 3400 Pfund. Trotz des Gewichtes der daran gehängten Gondel, der Stricke, mit denen diese befestigt ist, der Anker und Geräthschaften, könnten also noch mehrere Personen in diese Gondel steigen, mit Lebensmitteln und Instrumenten, ja sogar noch mit einer hinreichenden Menge von Ballast versehen, um durch dessen Auswerfen später das Gewicht der Gondel zu verringern und so die Steigkraft des Ballons zu erhöhen; und es würde immer noch eine bedeutende Kraft übrig bleiben, welche das Fahrzeug ebenso zu den dünneren Luftschichten emporschnellte, wie etwa eine luftgefüllte Blase aus dem Grunde des Wassers aufsteigt.

Mit der Höhe der Atmosphäre nimmt bekanntlich ihre Dichtigkeit ab, und der steigende Ballon würde dadurch an Tragkraft verlieren, wenn nicht in gleichem Maße mit der Dichtigkeit auch die Spannkraft der Luft abnähme, während die Spannkraft des eingeschlossenen Gases die gleiche bleibt. In Folge des nachlassenden Druckes von außen

beginnt aber nun die Spannkraft des Gases sich geltend zu machen; das Gas dehnt sich mehr und mehr aus und gleicht durch diese eigene Verdünnung die Wirkung der Luftverdünnung in der Atmosphäre aus. Freilich bringt diese Ausdehnung des eingeschlossenen Gases den Ballon selbst in die größte Gefahr, wenn der Luftschiffer ihn zu sehr anfüllte, oder wenn die Sicherheitsklappen, durch welche er den gefährlichen Ueberfluß des Gases entweichen lassen kann, den Dienst versagen. Der Ballon droht unter dem inneren Andrange, dem die äußere dünne Luft kein Gegengewicht mehr bietet, zu bersten.

Aber nicht nur ein gebrechliches, auch ein unbehülfliches und unlenksames Schiff ist der Ballon, ein Vogelleib gleichsam ohne Flügel, ein Schiff ohne Ruder und Segel. Ein Spiel der Winde und Strömungen, treibt es durch die Lüfte, von ihren Wellen bald hierhin, bald dorthin getragen, bald hoch hinaufgeführt, bald tief gesenkt. Ihm fehlt die Seele, die Kraft des Vogels. Was den Vogel befähigte, sich so schnell im Luftreiche zu bewegen, so gewandt auf und nieder und nach allen Richtungen zu schießen, war die außerordentliche Muskelkraft, mit welcher er seine breiten Flügel bald auszuspannen und gegen die Luft zu schlagen, bald einzuziehen und zu senken vermochte, je nachdem er des Druckes bedurfte, um sich fortzustoßen, oder ihn vermindern mußte, um nicht aufgehalten zu werden. Man hat es zwar versucht, auch dem Luftschiffe Flügel zu leihen, man hat ihm Ruder, Schaufelräder, Segel gegeben, um es nach Willkür durch die Lüfte zu steuern. Aber alle diese Maschinen erforderten für die Bewegung eines so großen Gebäudes in einem so dünnen Elemente gegen den mächtigen Druck des Windes ungeheuere Kräfte. Um diese Kräfte selbst wäre der Mensch zwar nicht verlegen gewesen; der Dampf hätte ihm ja zu Gebote gestanden. Aber wie sollte dieser schwache Bau unter den gewaltigen Stößen, welche er bei einer so heftigen Bewegung durch die widerstehende Luft erleiden müßte, zusammenhalten? Er würde einem mit Segeln überlasteten Schiffe auf sturmbewegter See gleichen. Nur von den Strömungen des Luftmeeres kann also der Luftschiffer sein segel- und ruderloses Fahrzeug tragen lassen, und nur durch die Benutzung der verschiedenen Luftströme in verschiedenen Höhen vermag er die Richtung seines Fluges zu ändern.

Noch ist also der Luftocean über uns eine unwirthliche, fremde Wüste, gerade wie es die großen Wasserwüsten der Erde waren in jenen Zeiten, da auch nur die Kühnheit Einzelner ihren trügerischen Mächten zu trotzen wagte. Aus der Ferne nur schauen wir den Strö-

men zu, die auch jenen Ocean durchfurchen; aber nur leichte Wölkchen sehen wir statt bewimpelter Schiffe droben auf diesen Strömen dahinziehen. Zu Zeiten senken sich diese Ströme zu uns hernieder, und das ganze Luftmeer aufwühlend, lassen sie auch uns die Gewalt ihrer Bewegung empfinden, führen sie die Dünste und den Staub der Erde mit sich fort, schmettern sie wohl Bäume und Gebäude nieder, die der Wuth ihres Andranges zu trotzen versuchten.

Was diesen Luftströmungen ihre furchtbare Gewalt verleiht, das ist die Wirkung desselben Gesetzes, das auch den Wasserstrom verheerend sein Thal durchrauschen läßt, das ihn aber auch dem Menschen als Triebkraft für seine Mühlen dienstbar macht. Es ist der Stoß ihre Bewegung und die mit der Geschwindigkeit im quadratischen Verhältnisse wachsende Wirkung dieses Stoßes. Denn mit der Geschwindigkeit des Stromes, gleichviel, ob es ein Luft- oder Wasserstrom ist, wächst auch die strömende Masse, und die Wirkung des Stoßes entspricht dem Producte aus der Geschwindigkeit und der Masse. Daraus erklärt sich nun auch die auffallend heftige Wirkung eines Sturmes, weil er, wenn seine Geschwindigkeit auch vielleicht nur 5mal die eines gewöhnlichen Windes übertrifft, doch mit 25mal größerer Gewalt andringt. Er gleicht in der That dem tosenden Wildbache, der verheerend die jähe Schlucht durchschießt, während der schwache Wind dem Wiesenbache gleicht, der plätschernd und spielend zwischen Blumen fortgleitet.

Mag der Wind die Flügel der Windmühle oder die Segel des Schiffes in Bewegung setzen, mag ein Gasstrom aus der engen Oeffnung eines Gasrohres, oder die erwärmte Luft durch den Schornstein fließen, die allgemeinen Gesetze der strömenden Bewegung, ihrer Hindernisse, ihrer Wirkungen, werden hier so gut Geltung finden, wie bei der strömenden Bewegung des Wassers. Das ausströmende Gas wird seine rückwirkende Kraft ausüben, die Kanone nach dem Schusse zurückschleudern, die Rakete hoch in die Luft treiben. Der ausströmende Luftstrahl wird in Folge der Reibung an den Ausflußmündungen zusammengezogen werden, und die Geschwindigkeit eines Luftstromes wird sich in langen Röhren so vermindern, daß durch eine Röhre von 9000 Fuß Länge selbst ein starker Blasebalg kaum nach 10 Minuten seine Wirkung bemerkbar machen wird.

Aber auch der Widerstand des Mittels wird sich an den Körpern geltend machen, die sich in der Luft bewegen, und dieser Widerstand wird genau der Wirkung entsprechen, welche ein Luftstrom von gleicher Geschwindigkeit auf einen ruhenden Körper ausübt. Der Widerstand

der Luft wird also im quadratischen Verhältnisse der Geschwindigkeiten wachsen, so daß eine Kugel von 1 Fuß Durchmesser, die bei einer Geschwindigkeit von 1 Fuß in der Secunde nur einen Widerstand von $^1/_{1600}$ Pfund erfährt, bei einer Geschwindigkeit von 10 oder 100 Fuß in der Secunde schon Widerstände von $^1/_{16}$ Pfund und $6^1/_4$ Pfund zu erleiden haben wird. Je geringer also die Fläche und je größer das Gewicht eines bewegten Körpers ist, desto leichter wird er dieses Hinderniß des Luftwiderstandes überwinden, desto größere Geschwindigkeiten wird er zu erlangen vermögen. Daher wird auch niemals die Eisenkugel die Flugkraft der Bleikugel erreichen. Was aber auch aus der Höhe fallen mag, sei es ein Meteorstein oder eine Geschützkugel, niemals wird es die ganze Gewalt der Wirkung ausüben, welche es durch die Höhe des Falles erlangt haben sollte, da der Luftwiderstand die Wirkung schwächt. Durch diesen Umstand ward es den Luftschiffern möglich, sich aus bedeutenden Höhen zur Erde niederzulassen, ohne sich den zerschmetternden Wirkungen eines solchen Sturzes auszusetzen. Sie spannten nur ihren leichten Fallschirm (Fig. 53) aus, dessen große Fläche einen bedeutenden Luftwiderstand veranlaßte und dadurch den Fall verlangsamte. Ein solcher Schirm von 30 Fuß Durchmesser, dessen Gewicht mit dem des daran hängenden Menschen etwa 170 Pfd. betragen möge, würde aus bedeutender Höhe doch nur mit einer Geschwindigkeit niedersinken, die etwa einem Sprunge von 2 Fuß Höhe gleichkäme; und selbst ein Schirm von 20 Fuß Durchmesser würde den

Fig. 53.

Sturz eines Menschen doch noch in einen Sprung von 4 Fuß Höhe mäßigen, den man gewiß ohne Gefahr wagen kann.

Diffusion der Gase.

Die atmosphärische Luft ist nicht ein einfaches Gas, sondern ein Gemenge mehrerer Gasarten, vorzugsweise aber zweier, des Sauerstoffs und des Stickstoffs, die dem Volumen nach in dem Verhältnisse von 21 zu 79 mit einander gemischt sind. Dieses Verhältniß ist merkwürdiger Weise für alle Schichten der Atmosphäre das gleiche, auf hohen Bergen, wie in der Ebene und in tiefen Thälern, obwohl das specifische Gewicht des Sauerstoffs das des Stickstoffs ungefähr um $^1/_8$ übertrifft. Das ist um so auffallender, als der Sauerstoff nicht mit Unrecht als das eigentliche Lebenselement zu bezeichnen ist, das den ewigen Kreislauf des Lebens in der Natur und das Spiel ihrer schaffenden Kräfte bedingt, an welches das Dasein der Thier- und Pflanzenwelt sich knüpft, und aus welchem selbst dem Fische in seiner feuchten Tiefe der Born des Lebens quillt. Durch diesen Sauerstoff ist es die Luft, welche den harten Fels in Staub und Erde verwandelt und zur Grundlage und Nahrung für Pflanze und Thier macht, die aus dem Steine den Pflanzenleib und aus dem Pflanzenleibe den Thierleib zaubert, und die dem Tode wieder die Schrecken der Verwesung nimmt und in das Verwesende den Keim neuen Lebens legt.

Seit Jahrtausenden, seit Millionen von Jahren vielleicht athmete bereits eine Pflanzen- und Thierwelt die Luft der Atmosphäre, und die Thierwelt namentlich behielt den Sauerstoff dieser Atmosphäre in sich zurück, um ihrem Blute die nährende Kraft zu leihen, während sie Kohlensäure dafür aushauchte. Seit Jahrtausenden brannten Feuer, rosteten Metalle und verzehrten den Sauerstoff. Wie ist es zu begreifen, daß heute noch, trotz dieses rastlosen Lebens, unsere Erde von demselben unveränderten und unverarmten Lebenselemente umgeben erscheint, wie einst? Allerdings wird durch den Athmungsproceß der Pflanzenwelt ein gewisses Gleichgewicht gegenüber dem Sauerstoff verzehrenden Leben der Thierwelt hergestellt, da die grünen Pflanzentheile am Lichte die Kohlensäure zersetzen und, indem sie den Kohlenstoff für sich verwerthen, den Sauerstoff ausathmen. Dadurch ist wenigstens im großen Ganzen die Unveränderlichkeit in dem Kohlensäuregehalte der Atmosphäre begreiflich, dessen gewöhnliches Maß etwa $^1/_{25}$ Procent der atmosphärischen Luft beträgt. Aber örtliche Veränderungen schei-

nen damit noch keineswegs beseitigt zu sein. Wenn der einzelne Mensch nach den Ermittelungen der Physiologen täglich fast 27 Cubikfuß Sauerstoff in sich aufnimmt und dafür eine gleiche Menge von Kohlensäure an die Atmosphäre zurückgiebt, so sollte man in der That meinen, daß in einer Stadt, wie Paris oder London, wo eine oder zwei Millionen Menschen athmen, allmälig durch Anhäufung der ausgeathmeten Kohlensäure wenigstens eine örtliche Verderbniß der Luft eintreten müsse, zumal diese Kohlensäure mehr als $1\frac{1}{2}$mal die atmosphärische Luft an Dichte und Schwere übertrifft. Daß dies nicht der Fall ist, daß überall vielmehr in Höhe und Tiefe kaum der geringste Unterschied in den Mischungsverhältnissen der Atmosphäre zu bemerken ist, liegt in einer Eigenschaft der Luftkörper, durch die sie sich wesentlich von den flüssigen unterscheiden, und die man die Diffusion der Gase nennt.

Es ist bekannt, daß Oel und Wasser sich nicht mit einander mischen; aber auch gefärbter Alkohol, den man vorsichtig in ein Gefäß mit Wasser gießt, wird sich seiner größeren Leichtigkeit wegen dauernd als eine schwimmende Schicht über dem Wasser erhalten. Verschiedene Luftarten aber, die einander berühren, ordnen sich nicht nach Maßgabe ihrer specifischen Gewichte über einander, sondern vermischen sich überall gleichmäßig. Die Gase durchdringen einander, verfließen mit einander. Der leichte Stickstoff, der schwerere Sauerstoff und die noch viel schwerere Kohlensäure verbreiten sich gleichmäßig durch alle Räume der Atmosphäre.

In dieser Bewegung werden die Gase auch durch Hindernisse, durch Scheidewände von Thon, Holz, thierischer Blase ꝛc. nicht aufgehalten; aber es können dadurch eigenthümliche Abänderungen in ihrem Durchdringungsvermögen hervorgerufen werden. Wasserstoffgas dringt auch durch die Poren der Blase, die es umschließt. Aber bringt man eine Blase mit Wasserstoffgas in ein mit Kohlensäure gefülltes Gefäß, so wird die Blase allmälig bis zum Bersten angespannt, weil die Kohlensäure viel leichter und schneller in die Blase eindringt, als das sonst so flüchtige und 22mal leichtere Wasserstoffgas entweichen kann. Ebenso läßt wässeriger Weingeist in einem mit Blase überzogenen Gefäße viel mehr Wasserdampf als Weingeistdampf verdunsten, und man hat darin ein Mittel, junge Weine in kurzer Zeit älteren an Stärke gleich zu machen und, da mit dem Verluste an Wasser auch das Vermögen, Weinstein aufzulösen, sich verringert, auch säurenfreier.

In diesem Verhalten der Gase sehen wir eine Erscheinung wiederholt, die wir in dem Verkehre der Flüssigkeiten mit einander als Endosmose bezeichneten. Nicht blos Flüssigkeiten, sondern auch Gase strömen zu einander durch organische Häute und Gefäßwände hindurch mit verschiedenen, durch Zahl und Gesetz bestimmten Geschwindigkeiten. Die große Bedeutung, welche die Endosmose der Flüssigkeiten in Anspruch nahm, lag in dem Antheile, welchen sie an dem Aufbau der organischen Körper, an der Stoffwandlung im Innern des Organismus, am Lebensprocesse selbst hat. Die Erscheinung verliert diese Bedeutung im Luftreiche nicht; auch die Diffusion der Gase hilft Organismen bauen und Leben ernähren. Auch die Dämpfe, in welche die Flüssigkeiten sich aufgelöst haben, auch die Gase treten an die Organismen heran und begehren Aufnahme. Atmosphärische Luft tritt in die Lungenzellen der Menschen ein. Noch trennt sie eine dünne Schleimhaut von dem durch zarte Haarröhrchen strömenden Blute. Aber die Luft durchdringt diese Haut, und vermöge dieser Eigenthümlichkeit der Endosmose tritt zwar der ganze Sauerstoff, aber nur ein geringer Theil des Stickstoffs zum Blute über, gerade wie auch in die Tiefen des Oceans, dem athmenden Fische zur Nahrung, eine verhältmäßig weit größere Menge des Sauerstoffs als des Stickstoffs hinabdringt. Das Blut wird durch diesen Sauerstoff belebt, und kehrt, nachdem es nährend den Leib durchströmt hat, zurück, mit den Verwesungsproducten des lebendigen und doch jeden Augenblick sterbenden Leibes beladen, um diese Verwesungsproducte, Kohlensäure und Wasserdampf, durch die feinen Häute der Lungenzellen hindurch gegen neuen Sauerstoff zu vertauschen.

Wenn eine Luftart einen porösen Körper durchdringt, so erleidet sie dabei in der Regel zugleich innerhalb dieses Körpers eine Verdichtung. Vermöge dieser Verdichtung sind poröse Körper deshalb oft im Stande, bedeutende Mengen von Gasen zu verschlucken. Sehr bekannt wegen dieses Verhaltens namentlich gegen Riech- und Farbstoffe ist die Kohle, und sie spielt deshalb beim Entfärben des Zuckers und Entfuseln des Branntweins eine nicht unbedeutende Rolle. Bisweilen ist mit dieser Verdichtung eine starke Erhitzung verbunden. So erzeugt die Verdichtung des Wasserstoffgases im Platinschwamme, d. h. fein zertheilten Platin, eine solche Hitze, daß das zuströmende Gas entzündet wird. Bekanntlich beruht darauf die Einrichtung unserer Platinfeuerzeuge. Da die Luft überall verbreitet ist, und da nicht wenige Körper die Eigenschaft der Porosität in hohem Grade

besitzen, so findet auch ein Verschlucken und Verdichten von Dämpfen und Gasen in größerem Umfange statt, als Mancher vielleicht anzunehmen geneigt ist. Selbst an den Oberflächen anscheinend völlig glatter Körper haften stets verdichtete Gase. Auch die trockenste Glasröhre ist nicht luftfrei, und auch der eingeschliffene Glasstöpsel schließt nicht luftdicht, weil eine verdichtete Luftschicht ihn stets umhüllt.

Zweiter Abschnitt.

Die Erscheinungen der Wellenbewegung.

(Schall, Wärme und Licht.)

Erstes Kapitel.

Die allgemeinen Gesetze der Wellenbewegung.

Wenn auch mit vollem Rechte jede Naturerscheinung als Bewegung und damit die Naturlehre selbst als Bewegungslehre zu bezeichnen ist, so hat doch derjenige Theil der Naturlehre, den wir Mechanik genannt haben, es wesentlich nur mit Bewegungen zu thun, die auch in ihren Wirkungen nur zu ähnlichen Bewegungen, einer Hebung, einem Drucke oder einer Fortbewegung im Raume führen. Es giebt aber noch andere Bewegungen in der Natur, die in ihren Wirkungen nur durch die zarten Bewegungen kund werden, die sie in unsern Sinnesnerven anregen. Alle diese Erscheinungen, in denen uns die Natur gerade die reinsten und herrlichsten Genüsse bietet, auf denen die Veredlung unserer Sinnesempfindungen in der Kunst beruht, gründen sich auf eine einfache Form der Bewegung, die wir als *schwingende* oder *Wellenbewegung* bezeichnen wollen.

Als eines der einfachsten Grundgesetze der Mechanik stellten wir den Satz hin, daß es keine Bewegung ohne Ursache gebe, und daß mit der Ursache auch die Bewegung aufhören müsse. Wenn wir gleichwohl auf den einfachen Stoß fortdauernde Bewegungen erfolgen sahen, so erhielten wir eine Erklärung dafür in dem Vorhandensein stetig fortwirkender Kräfte, wie sie uns am einfachsten in der Schwere entgegentraten. Wir erkannten sogar, daß es überhaupt nur wenig augenblicklich vorübergehende Wirkungen in der Natur gebe. Ein erster Anstoß regt immer eine endlose Reihe von Bewegungen an, die sich

nur durch ihre Kleinheit oft unsern unachtsamen Blicken entziehen. Eine einfache Bewegung dieser Art lernten wir beim Pendel kennen. Ein Stoß trieb es aus seiner Gleichgewichtslage, die Schwere zog es wieder zurück. Aber die Geschwindigkeit, welche es durch diesen Fall in Folge der beschleunigenden Einwirkung der Schwere erlangt hatte, trieb es in entgegengesetzter Richtung wieder aufwärts, bis die Schwere es wieder abwärts zog, und die Wirkung des Falles es wieder nach der andern Seite emportrieb. So entstand ein beständiges Hin- und Herschwingen, das seiner Gleichmäßigkeit wegen ein Mittel zur Zeitmessung abgab.

Eine ähnliche Fortdauer der Wirkung zeigt sich, wenn durch einen Stoß das Gleichgewicht einer ruhenden Wasserfläche gestört wird. Das getroffene Wasser folgt im ersten Augenblicke dem Stoße und sinkt trichterförmig in die Tiefe hinab; aber bald erhebt sich wieder ein kleiner Wasserberg aus dem Trichter, und von ihm gehen rings nach allen Seiten kreisförmige Wellen aus, die bis zum Rande vordringen. Längst ist die erste Ursache der Bewegung, etwa ein fallender Stein, verschwunden, längst ist der Wasserberg, der sich über ihm erhob, in die Tiefe gesunken, und noch immer ziehen die Wellen von jenem Mittelpunkte her, noch immer taucht ein Berg und eine Welle nach der andern auf.

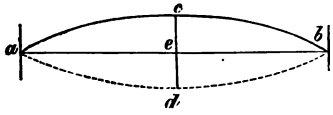
Dem ersten Anscheine nach ist es die Wassermasse selbst, die sich in Wellenform dem Rande zu bewegt. Hastig scheint sich ein Wellenberg nach dem andern in das ihm vorangehende Wellenthal zu stürzen, als dränge es ihn, jene Stelle zu fliehen, an welcher der Stein das Wasser traf. Aber der Schein trügt. Man kann sich davon überzeugen, wenn man ein kleines Blättchen beobachtet, das irgendwo auf der Wasserfläche schwimmt. Schritte wirklich das Wasser dem Rande zu, so müßte es auch das Blättchen mit sich forttragen. Aber das Blättchen taucht nur auf und nieder, schaukelt sich nur hin und her; die Wellen gleiten unter ihm fort, und es kommt dem Rande nicht näher.

Daß in der That diese fortschreitende Bewegung der Wellen nur eine scheinbare ist, und daß in Wirklichkeit nichts als ein Auf- und Niederschwanken der Wassertheilchen stattfindet, wird deutlich durch eine andere ähnliche Erscheinung bewiesen. Wenn man auf ein zwischen zwei festen Punkten ausgespanntes Seil an irgend einem Punkte einen Schlag ausübt, so erhält das Seil in der Nähe der getroffenen Stelle eine kleine Ausbeugung nach unten, aber diese Aus-

beugung durchläuft dann noch weiter das ganze Seil und kehrt sogar von dem einen Ende zum andern zurück. Das ganze Seil geräth also gleichfalls durch den Stoß in eine Reihe von Schwingungen, von fortlaufenden Wellen. Hier kann es offenbar nur die Form sein, welche sich fortbewegt, da die Theile des Seiles in unverändertem Zusammenhange bleiben.

Die Ursache dieser fortschreitenden Wellenbewegung beim Seile ist nun leicht zu erkennen. Die Wirkung des Stoßes muß sich hier in der That auf das ganze Seil fortpflanzen; denn die ganze Spannung des Seiles ist gestört, und jeder einzelne Theil ist bestrebt, die gestörte Ruhelage wieder herzustellen. Alle einzelnen Punkte machen also nach einander die Bewegung des zuerst bewegten Punktes nach. Der durch den Stoß getroffene Theil des Seiles e (Fig. 54) folgt nämlich zunächst der Bewegung abwärts nach d, bis die Kraft des Stoßes nachläßt. Dann aber tritt sofort die Wirkung der Spannung wieder ein und treibt das Seil in die ursprüngliche Lage nach e zurück. In dieser Lage hat aber der elastische Zug nach oben gerade seine größte Geschwindigkeit erreicht; das Seil kann also unmöglich hier plötzlich zur Ruhe kommen, sondern weicht nun nach oben (nach c) aus, bis die Geschwindigkeit dieses neuen Stoßes wieder vernichtet ist. Dann tritt die Spannkraft wieder in Wirkung und treibt das Seil in die entgegengesetzte Bewegung wieder über die Ruhelage hinaus. So schwingt das ganze Seil beständig auf und nieder, zwischen den Lagen a d b und a c b, bis die allgemeinen Hindernisse aller Bewegung, Steifheit des Seiles, Reibung und Luftwiderstand, auch diesem Schwingen ein Ziel setzen. Jeder einzelne Theil des Seiles beschreibt dabei stets nur eine kleine gerade Linie auf und ab, senkrecht gegen die Richtung des gespannten Seiles, und nur, indem alle Punkte nach einander diese Bewegung beginnen, wird die Form einer fortschreitenden Welle erzeugt.

Fig. 54.



Das Wasser besitzt nun freilich nicht eine solche Elasticität, wie sie in der Zusammenhangskraft der festen Körper begründet ist. Aber die Schwere vermag hier eine ähnliche Spannung der Oberfläche zu bewirken, indem sie die beweglichen Wassertheilchen antreibt, in der horizontalen Lage ihre Ruhe zu suchen, und ein Stoß, der dieses Gleichgewicht der Schwere aufhebt, vermag deshalb ebenfalls lange

nachhaltende Schwingungen zu erzeugen. Der Stoß, etwa eines fallenden Steines, drängt zuerst einige Wassertheilchen nach abwärts und zwingt dadurch gleichzeitig die Wassertheilchen der nächsten Umgebung, sich wallartig um diese Vertiefung zu erheben. Wenn dann die Schwere wieder in Wirksamkeit tritt und gleichsam die alte Spannung der Wasserfläche wieder herzustellen sucht, so sinken die erhobenen Wassertheilchen wieder abwärts, während die vorher gesunkenen aufwärts steigen. Durch diese Bewegung erhalten sie aber, ähnlich wie das Pendel durch seinen Fall, einen neuen Anstoß, der sie über die Ruhelage hinaustreibt. Die sinkenden Theilchen drängen ihre nächste Umgebung wieder aufwärts, bis diese wieder niedersinken und wieder ein neues Aufsteigen der umgebenden Wassertheilchen veranlassen.

So entsteht jenes Heben und Senken, jenes beständige Auf- und Niederschwanken, das, sich in immer weitere Entfernungen mittheilend, die Form der scheinbar fortschreitenden Welle erzeugt. Aber die Wassertheilchen bewegen sich nicht blos auf und nieder, wie die Theile des schwingenden Seiles. Denn die Wassertheilchen sind unter einander verschiebbar, die Wirkung des Stoßes pflanzt sich also nicht blos allmälig von Theilchen zu Theilchen fort, sondern schiebt sie auch wirklich etwas seitwärts und versetzt sie dadurch in eine Art drehender oder kreisender Bewegung. Die sämmtlichen durch den Stoß gehobenen Wassertheilchen fließen anfangs, den Ort des Stoßes fliehend, der benachbarten Vertiefung zu, bis dort durch den Rückschlag der sich wieder hebenden Wassertheilchen die Wirkung des Stoßes gebrochen wird, und die Wassertheilchen nun aufwärts zum Anfangspunkte ihrer Bewegung zurückkehren. So beschreibt also jedes Theilchen eine in sich zurücklaufende, kreisförmige oder elliptische Bahn, die durch das Streben der Schwere nach Wiederherstellung des gestörten Gleichgewichts im Kampfe mit der Verschiebbarkeit der Wassertheilchen erzeugt wird.

Die äußere Erscheinung dieser Bewegung ist gleichwohl dieselbe Wellenform, wie die der nur auf und nieder schwingenden Theilchen des Seiles. Zur Fortpflanzung aller Bewegung gehört nämlich eine Zeit. Während also die durch den Stoß angeregte und durch das Ausgleichungsstreben der Schwere fortgesetzte Bewegung von einem Wassertheilchen zum andern fortschreitet, gewinnt das erste Zeit, einen gewissen Theil seiner Kreisbahn zurückzulegen, und im Augenblicke, wo das dritte Theichen seine Bewegung beginnt, ist auch das zweite schon in seiner Bahn vorgeschritten. Während also das erste Theil-

Fig. 55.

chen a (Fig. 55) seine Kreisbahn vollendet, theilt sich die Bewegung einer ganzen Reihe von Theilchen, b, c, d, e ꝛc., mit, deren jedes am Schlusse dieses Zeitraums sich natürlich in einem andern Punkte seiner Bahn befindet, eines in dem höchsten, ein anderes in dem niedrigsten. Diese einzelnen Punkte sind es nun, welche die Oberfläche des bewegten Wassers begrenzen und seine Wellenform bilden. In jedem folgenden Augenblicke wird diese Form also zwar die gleiche sein, sich aber an einer andern Stelle zeigen, weil die einzelnen Wassertheilchen bereits andere Stellen in ihren Bahnen einnehmen, und neue Theilchen von der Bewegung ergriffen sind. So muß also die Form der Welle fortschreiten, weil doch jedes einzelne Wassertheilchen einmal den höchsten und einmal den tiefsten Punkt seiner Bahn erreichen, einmal den Gipfel des Wellenberges und einmal den Tiefpunkt des Wellenthales bilden muß. Die schönen Wellen also, die wir so oft bewundern, sind nur ein schöner Schein, eine wechselnde Hülle inneren Bewegens, und so oft eine neue Welle auftaucht, erzählt sie uns nur, daß so eben ein Wassertheilchen einen Kreislauf, eine Schwingung vollendet hat und eine neue beginnt.

Die Wellenbewegung der Oberfläche pflanzt sich aber auch in die Tiefe fort; denn der Stoß wirkt auch dorthin, und das Ausgleichungsbestreben der Wassertheilchen regt sich auch dort. Gleichzeitig mit den Wassertheilchen der Oberfläche beginnen auch die der Tiefe ihre Kreisbahnen zu beschreiben, die allerdings unter dem Drucke der Wassermassen allmälig immer kleiner werden, oder, von dem Gegendrucke des Bodens in immer flachere Ellipsen zusammengedrückt, zuletzt in ein einfaches horizontales Hin- und Herschwanken übergehen (s. Fig. 55). Die Tiefe, bis zu welcher diese Wellenbewegung noch hinabreicht, hat man auf das 350fache der Wellenhöhe geschätzt. Es läßt sich also wohl begreifen, daß die gewaltigen Wellen des offenen Oceans, deren Wellenberge meist Höhen von 6—8 Fuß, neben eben so tiefen Thälern, bisweilen sogar die doppelten Höhen erreichen, den Grund des Meeres bis auf 4 — 5000 Fuß Tiefe aufzuwühlen und mit seinen Sandmassen die Ufer zu überschütten vermögen.

Wenn von einer fortschreitenden Bewegung der Wellen im eigent-

lichen Sinne nicht mehr die Rede sein kann, so kann man auch von einer Geschwindigkeit der Wellen nur in einem ganz besonderen Sinne sprechen. Die Welle, die an das Ufer schlägt, zeigt nur an, daß ein Wassertheilchen in diesem Augenblicke eine Schwingung vollendet hat. Wenn also die kräftigere Welle, die durch den Wurf eines größeren Steines erregt ist, schneller an das Ufer eilt, als die schwächere, so heißt das nur, daß die Wassertheilchen schneller ihre Schwingungen vollenden. In dem Kommen der Wellen, in dem Dahineilen dieser Oberflächenform spiegelt sich also das Bild der wirklichen Geschwindigkeit der schwingenden Wassertheilchen.

Die durch den kräftigeren Stoß erregte Welle ist aber zugleich auch höher und kürzer, als die durch den schwächeren Stoß erregte. Der heftigere Stoß veranlaßt nämlich schnellere Schwingungen. Je schneller aber die einzelnen Wassertheilchen kreisen, auf desto weniger Theilchen vermag sich entweder während einer solchen Schwingung die Bewegung fortzupflanzen, desto kürzer werden also die Wellen; oder desto größere Kreise müssen diese Theilchen durchlaufen, desto höher müssen also die Wellen werden, wenn sie die gleiche Zeit für die Mittheilung der Bewegung und damit die gleiche Länge der Wellen gestatten sollen. Von der Wirkung des Stoßes hängt also auch die Höhe und Breite der Wellen ab. Die Wellen sind um so höher, je schneller die Schwingungen sind, und um so breiter, je langsamer die Schwingungen.

Die Interferenz der Wellen.

Da um jeden Punkt, in welchem eine Wasserfläche getroffen wird, sich ein Wellensystem bildet, so müssen mehrere gleichzeitig erregte Wellensysteme einander in ihrem Verlaufe nothwendig begegnen und durchkreuzen. Für den ersten Anblick scheint eine Störung dabei gar nicht stattzufinden. Die sich erweiternden Wellenkreise durchkreuzen zwar einander, aber unverändert geht jede Welle aus dieser Durchkreuzung hervor, und ungestört, als ob sie von Anfang an allein dagewesen wäre, schreitet sie fort. Bei genauerer Betrachtung wird man aber doch finden, daß die Wellenkreise nach ihrer Durchkreuzung nicht mehr die schöne, gleichmäßige Wölbung besitzen, daß an einzelnen Durchkreuzungsstellen ihre Berge viel höher, ihre Thäler viel tiefer geworden sind, daß an andern sogar eine völlige Ausgleichung, eine Ebnung der Berge und Thäler stattgefunden hat. In der That mußte

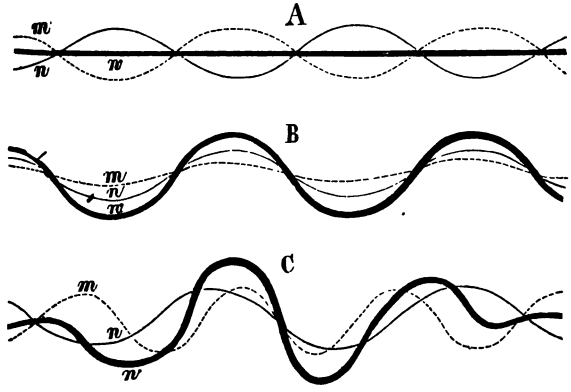
eine Störung eintreten, da vielfach entgegengesetzte Bewegungen auf einander trafen. Wenn wir es hier auch nur mit einem Scheine der Bewegung, mit fortschreitenden Oberflächenformen zu thun haben, so birgt sich doch unter diesem Scheine eine wirkliche Bewegung, die Schwingung der Wassertheilchen. Die einander entgegen eilenden Wellen zeigen uns ja an, daß ihre Wassertheilchen in entgegengesetzte Schwingungen versetzt sind. Stoßen nun zwei Wellenberge auf einander, so hat das höchste Theilchen jedes Gipfels so eben seine Bewegung nach oben gerichtet. Von beiden Seiten her drängen die folgenden Wassertheilchen nach, und es bleibt jenen kein anderer Ausweg, als sich in ihrer Bewegung nach aufwärts zu vereinigen. So bildet sich eine einzige hohe Welle, die aus der Verschmelzung der beiden auf einander treffenden Wellenberge hervorgeht. Von dieser Höhe stürzen die Wassertheilchen mit vereinigter Kraft zu eben solcher Tiefe hinab, drängen zu beiden Seiten die benachbarten Theilchen zu derselben Höhe empor und erzeugen so zwei nach entgegengesetzter Richtung fortschreitende erhöhte Wellen. Wo dagegen zwei Wellenthäler auf einander treffen, entsteht ebenso aus der gemeinsamen Bewegung ihrer Theilchen nach abwärts ein Thal von doppelter Tiefe, dem ähnliche Thäler und Berge folgen. Wo endlich Berg und Thal einander kreuzen, da heben die in entgegengesetzter Richtung nach aufwärts und abwärts schwingenden Theilchen einander in ihrer Bewegung auf und stellen die ruhige Ebene der Wasserfläche wieder her.

So selbstverständlich das allgemeine Naturgesetz erscheint, wonach stets zwei Bewegungen, welcher Art sie auch sein mögen, einander in ihren Wirkungen verstärken oder schwächen müssen, je nachdem sie gleich oder entgegengerichtet sind, so wird es doch dem Laien nicht leicht, sich vor einer verkehrten Ansicht von der oben erwähnten Erscheinung zu schützen, welche der Physiker die Interferenz der Wellen nennt, von jener Erscheinung nämlich der gegenseitigen Vernichtung zweier Wellen, die mit Berg gegen Thal auf einander treffen. Am verführerischsten ist der Irrthum dann, wenn man zwei Wellen, die hinter einander herlaufen, also augenscheinlich dieselbe Richtung verfolgen, in dem Augenblicke, wo sie einander erreichen, sich gegenseitig vernichten und zur stillen Fläche ebnen sieht. Man muß sich dabei die Thatsache in's Gedächtniß rufen, daß die fortschreitende Bewegung der Wellenform nur Schein, und daß die Schwingung der Theilchen die einzig wirkliche Bewegung ist. Dann ist es begreiflich, daß ein Gegensatz zwischen den schwingenden Theilchen zusammentreffender Wellenberge

und Wellenthäler bestehen muß, und daß dieses Zusammentreffen nichts Anderes ist, als die gleichzeitige Anregung desselben Wassertheilchens, eine Schwingung aufwärts und eine Schwingung abwärts zu beginnen, so daß das Resultat dieses Widerspruchs nur die Ruhe sein kann.

Am anschaulichsten lassen sich diese Interferenz-Erscheinungen mit Hülfe eines einfachen Apparates machen, welcher von den berühmten Gebrüdern Weber ersonnen ist und daher den Namen der Weber'schen Wellenrinne führt. Es ist ein schmaler Trog mit Glaswänden von hinlänglicher Länge und Tiefe, der mit Wasser gefüllt ist, in welchem feine Staubtheilchen schweben und durch ihre Bewegung die Bewegungen des Wassers selbst bis in seine Tiefe sichtbar machen. An dem einen Ende dieser Wellenrinne erzeugt man nun dadurch, daß man eine in einer Glasröhre aufgesogene Flüssigkeitssäule niederfallen läßt, eine Welle und läßt einige Augenblicke darauf eine zweite folgen, und zwar genau so, daß diese einen Wellenberg an derselben Stelle bildet, wo die vorhergehende Welle eben ein Wellenthal bilden müßte. Diese beiden Wellen m und n (Fig. 56 A), die genau in einer, ihrer

Fig. 56.



halben Breite gleichen Entfernung auf einander folgen, wird man einander ebnen und ausgleichen sehen. Erzeugt man aber die zweite Welle so, daß der neue Wellenberg genau zu derselben Zeit entsteht, wo auch die alte Welle sich zum Berge erhebt, so wird man diese Wellen (B), die um ganze Wellenbreiten hinter einander folgen, in ihrem Zusammentreffen einander verstärken sehen zu den höheren Bergen und

tieferen Thälern der Welle w. Läßt man (Fig. C) eine stärkere Welle m, also eine Welle von geringerer Wellenbreite einer schwächeren n von größerer Wellenbreite folgen, so vervielfältigt sich die Erscheinung, und es tritt eine Folge von höheren und flacheren Bergen und Thälern ein, die sogar von Ebenen unterbrochen wird. Erzeugt man endlich gleichzeitig neben einander eine ganze Reihe von Wellen, so gehen diese durch die Interferenz ihrer Berge und Thäler in eine einzige Welle über, die quer gegen die Reihe der ursprünglichen Ausgangspunkte durch die Rinne fortschreitet. Es ist dies im Grunde ganz dieselbe Erscheinung, die aus dem Stoße eines eckigen Steines runde Wellen hervorgehen läßt. Wenn nämlich auch ursprünglich von jeder Ecke verschiedene Wellen ausgingen, so mußte doch das Resultat ihrer Interferenz bei der bald erfolgenden Kreuzung eine einzige in concentrischen Kreisen fortschreitende Welle sein.

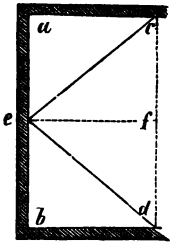
Zurückwerfung und Beugung der Wellen.

Wenn eine Welle in ihrem Fortschreiten gegen die Uferwand trifft, so wird sie durch diesen Stoß nicht vernichtet, sondern kehrt scheinbar unverändert zur Mitte zurück. Es ist augenscheinlich dieselbe Erscheinung, wie der Rückprall des gegen eine Wand geworfenen elastischen Balles. Aber man pflegt über diese letztere Erscheinung sehr leicht hinwegzugehen, sie einfach als Thatsache aufzufassen, die keiner weiteren Begründung bedarf.

Das Zurückprallen jedes festen Körpers von einer unelastischen Wand beruht auf seiner Elasticität. Die Wand selbst vermag nichts weiter, als der Bewegung des geworfenen Körpers ein unüberwindliches Hinderniß entgegenzusetzen, seinen Stoß zu vernichten. Ein unelastischer Körper, eine weiche Thon- oder Bleikugel, folgt daher der einzigen, noch übrig bleibenden Kraft, dem Zuge der Schwere, und fällt senkrecht zum Boden. Der Stoß gegen die Wand hat für ihn nur die Folge, daß er zusammengedrückt wird. Auch der elastische Körper wird durch einen solchen Stoß zusammengedrückt, aber nur vorübergehend; er kehrt schnell wieder in seine ursprüngliche Form zurück, und zwar um so vollkommener, je größer seine Elasticität ist. Indem aber die Elasticität die Zusammendrückung wieder aufhebt, treibt sie den Körper in entgegengesetzter Richtnng zurück. Hier wird also die innere Bewegung der Theilchen, die bei der Zusammendrückung und Ausdehnung stattfindet, zu einer äußerlichen, weil die ausdehnende Bewegung nur nach

der der Wand entgegengesetzten Richtung freien Raum findet, und weil die Theilchen zusammenhängen, der Körper also nur als Ganzes der Bewegung folgen kann. Wenn der Stoß des elastischen Balles oder der Billardkugel schief gegen die Wand erfolgt, so setzt sich die Rückbewegung aus einer doppelten zusammen, aus dem senkrecht von der Wand gerichteten Rückstoße und der unverändert längs der Wand forttreibenden Kraft. Die zurückprallende Kugel durchläuft also die Diagonale e c (Fig. 57) eines Kräfteparallelogramms a e f c, das ganz dem Parallelogramm b e f d gleich ist, als dessen Diagonale die Richtung ihres ursprünglichen Stoßes d e angesehen werden kann, nur in veränderter Lage, wegen der veränderten Richtung des Stoßes. Die zurückprallende Kugel schlägt also in demselben Winkel von der Wand ab, unter welchem sie aufgeschlagen ist. Dies Gesetz der Zurückwerfung oder Reflexion gilt allgemein für das Zusammentreffen elastischer Körper, gleichviel ob sie es mehr oder weniger, ob es nur der eine oder beide sind. Eigentlich giebt es sogar weder ganz unelastische, noch ganz elastische Körper. Denn das Wesen der Erscheinung besteht doch nur darin, daß die Bewegung des gestoßenen Körpers in der Zusammendrückung nicht ganz verloren geht, nicht durchaus in eine innere, als solche nicht mehr zu erkennende Bewegung der Theilchen verwandelt, sondern wenigstens theilweise von diesen zurückgewiesen oder dem Ganzen zurückgegeben wird.

Fig. 57.

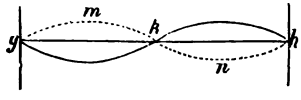


Die gegen die Uferwand schlagende Welle unterscheidet sich von dem elastischen Balle freilich dadurch, daß es sich hier nicht um zusammenhängende, sondern um verschiebbare Theilchen handelt, und daß hier von einer eigentlichen Elasticität nicht die Rede sein kann. Gleichwohl erfolgt ihre Zurückwerfung nach demselben Gesetze. Wenn wir zum ersten Ursprunge der Welle zurückkehren, so war es eine auf- und niedergehende, schwingende Bewegung, welche ein Flüssigkeitstheilchen durch den Stoß erhalten hatte, und welche es nach Art des Pendels in immer kleineren Bahnen wiederholte, wodurch sich immer neue Wellen in demselben Punkte erzeugten. Diese Schwingung des ersten Theilchens wurde aber von Theilchen zu Theilchen fortgepflanzt, und so entstand die fortschreitende Welle. Will man die Welle mit dem geworfenen Balle vergleichen, so entspricht das Fortschreiten der Form der Wurfbewegung, die kreisförmige Schwingung der Theilchen der

Elasticität. Die kreisförmige Schwingungsbahn ist es also, welche durch den Stoß an der Wand eine Zusammendrückung erleidet und in der Rückkehr zur ursprünglichen Form die Kraft für die neue Bewegung entfaltet. Die beweglichen Wassertheilchen werden nämlich in ihrer Schwingung durch die feste Wand gehemmt und suchen nun, von den nachfolgenden Theilchen gedrängt, auszuweichen, finden aber nur nach oben einen Ausweg. Das Zurücksinken dieser Theilchen aber ist es, das den Anstoß zu neuen Schwingungen in der einzigen freien Richtung ertheilt und damit eine neue, rückschreitende Welle erzeugt. Wellenberg und Wellenthal werden gleichsam für einen Augenblick auf ihre halbe Breite zusammengedrängt und in ihrer Höhe und Tiefe verdoppelt, bis sie durch einander hindurchgehen und für einen Augenblick die Oberfläche des Wassers ebnen. Dann erst schreitet die zurückgeworfene Welle in derselben Form fort, in welcher sie gekommen war, scheinbar unverändert; und nur, daß Berge jetzt dort schreiten, wo vorher Thäler waren, verräth, daß ein Kampf stattgefunden.

Wenn eine Welle beim senkrechten Anstoße gegen eine Wand in sich selbst zurückgeworfen wird, so bilden sich doppelt erhöhte Wellenberge, doppelt vertiefte Wellenthäler und Interferenzpunkte, die durch fortwährendes Zusammentreffen entgegengesetzter Bewegungen in Ruhe bleiben. Man sieht dann nicht mehr den Berg zum Thale fortschreiten, sondern jeder Berg versinkt gleichsam in sich selbst, und aus jedem Thale steigt ein Berg auf. Die flüchtige Wellenerscheinung hat ein Gepräge der Ruhe, der Erstarrung angenommen, die Oberfläche scheint nur noch in einer auf- und niedergehenden Wallung begriffen. Die Erklärung dieser Erscheinung ist sehr einfach. Die zurückgeworfenen und gegen die Wand anrückenden Wellen müssen einander begegnen. Trifft nun der zurückgeworfene Wellenberg m (Fig. 58) auf das fortschreitende Wellenthal n, oder das zurückgeworfene Wellenthal auf den fortschreitenden Wellenberg, so müssen in dem Punkte k die entgegengesetzten Bewegungen der beiden Wellen einander aufheben, interferiren. An allen um eine halbe Wellenbreite davon entfernten Punkten geschieht aber dasselbe, und zwischen ihnen lagern sich abwechselnd Wellenberge und Wellenthäler der fortschreitenden und zurückgeworfenen Wellen über einander, so daß die ganze Wasserfläche den Anschein erhält, als ob sie in lauter einzelne, für sich schwingende Abtheilungen

Fig. 58.

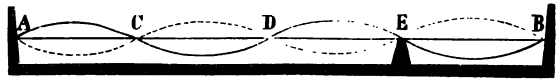


zerlegt wären. Diese Erscheinung führt den Namen der stehenden Wellen.

Man erzeugt solche stehende Wellen in Wassergefäßen sehr leicht, wenn man sie durch kurze Stöße von zwei entgegengesetzten Seiten her gleichzeitig erschüttert. Sie entstehen daher auch beim Tragen gefüllter Eimer in Folge der gleichmäßigen Erschütterungen unseres Ganges, und es ist sehr natürlich, daß ein plötzlicher unvorsichtiger Stoß oder ein Stillstand das schwankende Wasser aus dem Eimer schleudert.

Auch an einem Seile kann man stehende Wellen erzeugen, wenn es zwischen zwei festen Punkten ausgespannt ist. Denn auch hier werden die an jedem Ende anlangenden Wellen zurückgeworfen und müssen in ihrem Rückgange mit den fortschreitenden zusammentreffrn und mit ihnen interferiren. Am einfachsten geschieht es, wenn man das Seil als Ganzes zwischen zwei Punkten auf- und abschwingen läßt. Man kann aber auch eine Reihe stehender Wellen an einem Seile erzeugen, wenn man es in seinem dritten, vierten, sechsten oder achten Theile ꝛc. durch einen Steg unterstützt und dann durch einen Stoß in Schwingungen versetzt. Man erhält dann 3, 4, 6, 8 oder eine ganze Reihe solcher regelmäßig und unverändert auf- und niedergehender Schwingungen. Sind die Schwingungen schnell genug, so gewinnt das Seil einen Anblick, als ob es in eine Menge von Bäuchen abgeschnürt sei, die durch Knoten (C, D, E, Fig. 59) von einander getrennt sind. Bäuche

Fig. 59.

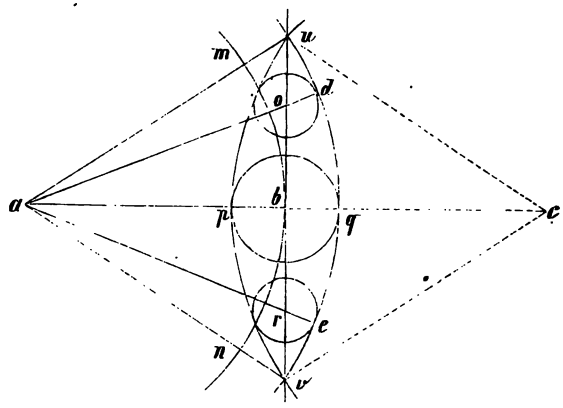


und Knoten nennt man in der That ganz allgemein solche stehende Wellen und ihre Interferenzpunkte.

Das allgemeine Gesetz der Zurückwerfung findet für die Wellenbewegung seine Geltung nicht blos darin, daß die Welle von der Uferwand zurückkehrt, um dann in der Begegnung mit der fortschreitenden stehende Wellen zu veranlassen, sondern es gilt auch für die Richtung der Zurückwerfung. Man muß sich nur dabei in das Gedächtniß rufen, daß es sich nicht um die Welle als Ganzes, sondern um die wirklichen Bewegungen der Theilchen handelt, die in ihrer Gesammtheit erst den Schein der Welle erzeugen. Eine einfache Betrachtung wird dann von der Richtigkeit des Gesetzes überzeugen.

Wenn ein von dem Punkte a (Fig. 60) ausgegangener Wellenkreis m n die feste Uferwand u v erreicht, so ist es zuerst der Punkt b, welcher dagegen stößt und in seinem Rückpralle hier eine neue kleine halbkreisför-

Fig. 60.



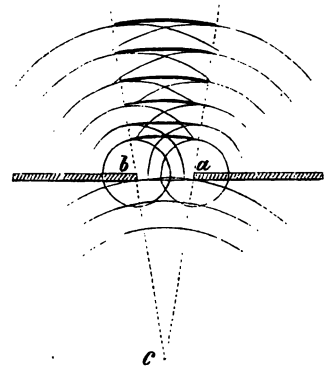
mige Welle erzeugt. Nach einander folgen dann die andern Punkte des fortschreitenden Wellenkreises, und jeder erzeugt im Anstoße neue Halbkreise. So haben sich in dem Augenblicke, wo der zuerst auftreffende Punkt des Wellenkreises bereits von b bis p zurückgeschritten ist, unzählige kleine, nach u und v hin immer kleiner werdende und allmälig verschwindende Halbkreise gebildet. Aus der Interferenz aller dieser kleinen Wellen geht nun die zurückgeworfene Welle u p v hervor, welche die sämmtlichen kleinen Halbkreise berühren muß und darum genau einer Welle u q v gleich ist, welche sich in ihrem ungehinderten Fortschreiten jenseits der Wand u v hätte bilden müssen. Es scheint also gleichsam, als ob nur der Ausgangspunkt der Welle verändert wäre, als ob sie jetzt nicht mehr von a, sondern von einem ebenso weit jenseits der Wand liegenden Punkte c herkomme.

Diese neue kreisförmige Welle ist es nun in Wahrheit aber ebenso wenig, welche zurückgeworfen wurde, als es jene Kreiswelle war, welche fortschritt. Vielmehr ist sie erst eine Folge der von Theilchen zu Theilchen sich mittheilenden Schwingungen, und es ist nur die Richtung dieser Mittheilung, welche umgekehrt worden. Der Anstoß zu diesen Schwingungen aber geschieht von dem Mittelpunkte des Wellenkreises

aus, und die Radien dieses Kreises bestimmen also die Richtung der fortschreitenden, wie der zurückgeworfenen Bewegung. Diese Radien aber sehen wir genau gleiche Winkel mit der zurückwerfenden Wand bilden (auv = cuv), so daß in der That jedes Wassertheilchen unter demselben Winkel zurückkehrt, unter welchem es aufgetroffen ist. Das allgemeine Zurückwerfungsgesetz, wonach der Zurückwerfungswinkel stets dem Einfallswinkel gleich ist, wird also von der Welle ebenso, wie von dem elastischen Balle bewährt.

Trifft eine Wellenbewegung in ihrem Fortschreiten gegen eine Oeffnung in der Wand, so geht ein Theil der Wellen zwar ungestört hindurch; ein anderer aber stößt gegen die Kanten der Oeffnung a und b (Fig. 61), wird hier zurückgeworfen und erregt neue Wellen, die sich auch nach außen und um die Ränder der Oeffnung herum ausbreiten. Diese seitliche Ausbreitung nennt man die Beugung der Welle, und sie ist um so größer, je geringer die Geschwindigkeit der ursprünglichen Welle ist. Die gebeugten Wellen kreuzen sich dann in der Mitte mit den ruhig fortschreitenden und erzeugen durch Interferenz neue höhere Wellen, die in ihrem Zusammenhange mit den gebeugten wieder das Ansehen kreisförmig fortschreitender Wellen annehmen.

Fig 61.



Die Meereswellen.

Alle diese Wellenerscheinungen sind es, welche den Wasserspiegel so belebt machen. Jeder Wechsel des Windes, jeder springende Fisch zaubert durch Interferenz, Brechung, Beugung neue Wellenbilder. Haucht der Wind nur leise als flüchtiger Schauer über die Fläche hin, so kräuselt er nur vorübergehend den Spiegel mit kleinen Wellen. Es scheint, als ob die Wasserfläche dem Stoße des Windes anfangs einen Widerstand zu leisten versuchte, wie eine einzige zusammenhängende

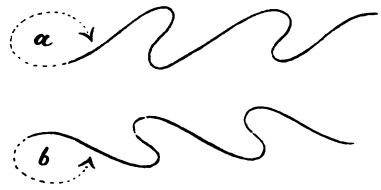
Decke, welche die Tiefen schützt. In der That ist es die auf ihrer gegenseitigen Anziehung beruhende Spannung der oberen Wassertheilchen, die wie mit einer dünnen Haut die ganze Fläche schützend überzieht. An Stellen, wo kleine Pflanzen, etwa Wasserlinsen, die ganze Fläche überziehen, bleibt sie daher fast unbewegt. Die dichtgedrängten Pflänzchen treten der aufwühlenden Wirkung des Luftstoßes entgegen und hemmen die freie Bewegung der Wassertheilchen. Ganz ähnlich wirken kleine Eisstückchen und Schneeflocken, wenn sie die Wasserfläche bedecken, und selbst die niederprasselnden Regentropfen können sturmbewegte Wellen dämpfen. Eine ähnliche Bewandtniß hat es auch mit der wogenstillenden Kraft des Oeles, obgleich der Volksglaube diesen Einfluß bis in's Wunderbare übertreibt. Daß Schiffer sich mitten in der furchtbarsten Brandung durch Ausgießen einer geringen Menge Oeles retteten, gehört wohl nur in den Bereich der Seemannssagen. Daß aber manche Fischer sich dieses Mittels mit Erfolg bedienen, um die Wellen zu besänftigen, weil das ruhige Wasser durchsichtiger ist, darf als unzweifelhafte Thatsache gelten.

Wenn neue Windstöße dem ersten folgen und den Widerstand der Wasserfläche brechen, so verwandelt sich der Wasserspiegel allmälig in ein wildes Wellengewirr. Aus der Ferne gesehen, zeigt jedoch auch dieses Gewirr eine gewisse Harmonie, und man unterscheidet deutlich die großen und kleinen Wellenzüge, von denen die Fläche durchschnitten wird. Manche Täuschung ist dabei allerdings im Spiele. So scheint es, als ob die Welle, wo sie von einer andern durchkreuzt wird, unter den Wasserspiegel versinke, und als ob die großen Wellen unter einer ruhenden und nur gekräuselten Oberfläche hinrollen, während doch in Wirklichkeit nur die höheren Wellen schneller vorwärts schreiten, und die kleinen Kräuselwellen nur hinter den größeren zurückbleiben. Aber es finden auch wirkliche Abweichungen von der Wellenform statt, wie sie nach der Theorie sich gestalten sollte, und wie sie etwa in der kleinen Wellenrinne sich auch wirklich zeigt. Die Wellen haben nicht mehr die schöne gleichmäßige Rundung, ein Charakter der Zerrissenheit und Rauhheit ist es, der sie auszeichnet. Steil stürzen ihre Gipfel vornüber, von weißen Schaumkämmen gekrönt. Die Wirkung der fortdauernden und sich stets erneuernden Windstöße ist es, welche die Wellenköpfe vorwärts treibt, so daß sie in einzelnen schäumenden Massen sich überschlagen. Es ist übrigens auch nicht blos die äußere Form, welche verwandelt ist — denn die Welle ist ja nur der äußere Ausdruck der inneren Bewegung — sondern diese innere Bewegung selbst ist eine

andere geworden. Die einzelnen Wassertheilchen beschreiben nicht mehr jene regelmäßigen, in sich geschlossenen, kreisförmigen oder elliptischen Bahnen; die stets erneuten Stöße hindern sie daran und treiben sie vorwärts, ehe sie, dem Zuge der Schwere gehorsam, ihre Bahnen vollenden können. So entstehen jene, in ihren Anfängen schleifenartig sich fortziehenden Bahnen (Fig. 62), die in ihrem Verlaufe Wellen mit über- oder zurückgebeugten Wellenbergen (Fig. 63) erzeugen. Es sind dieselben Bahnen, welche auch die Theilchen fließenden Wassers, wenn es zu Wellen erregt wird, beschreiben müssen, da die fließende Bewegung in ähnlicher Weise, wie die sich erneuernden Windstöße, wirken muß. Darum sieht man auch auf Flüssen und Strömen ähnliche vornüber- oder zurückgebeugte Wellen, je nachdem der Wind in der Richtung des Stromes oder ihr entgegen wirkt.

Fig. 62.

Fig. 63.



Das großartigste Schauspiel bietet uns das Wogengetümmel des weiten Oceans, wenn es nicht mehr blos jene einzige große Welle ist, welche, von der Schwere des Mondes alltäglich rings um die Erde getragen, in sanfter Wölbung die stille Fläche des Meeres hebt, wenn es auch nicht mehr blos eine jener Strömungen ist, welche in Folge des Ausgleichungsbestrebens der verschieden erwärmten Wassermassen wie Flüsse den ruhigen Spiegel durchfurchen, sondern wenn ein gewaltiger Sturm das Meer in seinen innersten Tiefen aufgewühlt hat. Lange, haushohe Wellen rollen einher; denn weithin vermochte der Sturm die fliehende Welle zu verfolgen und in immer wiederholten Stößen sie mit wachsender Gewalt zu schwellen, und tief hinab beschränkte kein Hemmniß die freie Bewegung der Theilchen. Einen ganz andern Anblick bieten die kurzen gebrochenen Wellen eines Binnenmeeres, dessen seichter Grund den Stoß der Wellen bricht und in ihrer freien Bewegung hemmt. In Sturmeseile stürzen sie dahin, und das segellose Schiff scheint rettungslos ihrer Gewalt preisgegeben. Aber gleich dem Blättchen auf den Wellen, die unser Steinwurf im kleinen

Teiche erregt, schwankt das Schiff nur auf und nieder von Berg zu Thal, und machtlos rauschen die Wellen unter seinem Kiele fort. Auch die Flucht der gewaltigen Meereswellen ist also nur Schein. Aber dieser Schein, diese Wellenform fliegt dem Sturme voran, zwei- bis dreimal so schnell als dieser, und rollt 20 bis 30 Seemeilen in jeder Stunde über den Ocean fort.

Den Sturmwind überflügelnd, hat sich die Welle dem felsigen Gestade genähert. Sie hebt sich über dem seichten Klippengrunde und bäumt sich vorn steil in die Höhe. In ihrem Laufe gehemmt, wird sie von der nachfolgenden ereilt; die Wellen stürzen über einander und thürmen sich zu einer furchtbaren Wand empor. Meilenweit hört man das Brausen dieser Brandung, und wehe dem Schiffe, das in den Bereich dieser wild sich brechenden Wogen geräth; es wird umgestürzt und versenkt oder an den Felsen zerschellt. Denn furchtbar ist die Gewalt der zusammengedrängten Wassermassen, die oft über 100 Fuß an den steilen Felsenküsten emporgeschleudert werden. Kaum vermag man sich eine Vorstellung zu machen von der Riesenkraft, die in einer Welle des Oceans schlummert. 40 bis 50 Fuß hoch steigt der Wellenberg über dem Wellenthale auf, und auf 800 bis 1000 Fuß dehnt sich diese Wölbung in die Breite. Diese gewaltige Wassermasse, die mit einem Drucke von 10,000 Centnern auf jeden Fuß ihres Widerstandes wirkt, ist in Bewegung, und zwar in einer so schnellen Bewegung, daß der Sturm hinter ihr zurückbleibt. Unter solcher Gewalt mag auch das festeste Schiff in seinen Fugen knarren und krachen. Wohl mag eine solche über das Verdeck hinstürzende Welle Menschen erschlagen und Planken und Steuerrad und Masten zerschmettern. Wohl mag das tobende Meer in seinem Grunde wühlen und 40 Centner schwere Felsstücke, wie die „Travellers" an Schottlands Küsten, weit in das Land hineinschleudern.

Endlich schweigt der Sturm. Aber das Meer wogt noch fort, und Tage lang noch schwingen die Wasser auf und nieder. Die Wellen kreuzen einander, und furchtbare Berge tauchen oft plötzlich aus der wild und regellos schaukelnden Fluth auf. Das ist die hohle See nach dem Sturme, für den Seemann ein angsterregender Anblick.

Zweites Kapitel.

Die Schallwellen.

Schwingungen in elastischen Körpern.

Alle Ruhe in der Natur ist nur eine scheinbare, bedingt durch das Gleichgewicht entgegenwirkender Kräfte. Jeder Körper bleibt nur derselbe, so lange die Bedingungen seines Zustandes dieselben bleiben. Der elastische Ball beharrt also auch nur in seiner Form, so lange die Kräfte, die sie erhalten, unverändert bleiben. Drücke ich ihn aber, so tritt eine innere Bewegung seiner Theile ein, der Ball wird zusammengedrückt. Hört der Druck auf, so kehrt er freilich in seine frühere Form zurück; denn die Bedingungen, die jene erzeugten, sind wieder dieselben geworden. Das ist es, was bereits als Elasticität bezeichnet wurde. Es muß indeß eine Grenze geben, wo die drückende Kraft zu groß wird und den Zusammenhang der Theile stört, sie also bleibend verschiebt und so eine bleibende Formveränderung bewirkt. Jedenfalls kann man sich jeden Körper ebenso gut als vollkommen elastisch wie als vollkommen unelastisch denken, natürlich nur im Verhältniß der Kraft, welche auf ihn einwirkt, weil für jeden Körper eine hinlänglich kleine Kraft gefunden werden muß, welche die Grenze der Verschiebbarkeit seiner Theile nicht überschreitet, und eine hinlänglich große, welche ihm eine völlig veränderte Form ertheilt.

Läßt man auf einen solchen elastischen Körper einen einseitigen Druck oder einen Stoß wirken, so ist die Folge davon, daß er nach der einen Seite hin eine Zusammendrückung erleidet, während er nach der andern Seite sich auszudehnen strebt. Durch dieses Drängen der inneren Theile nach der einen Seite hin, entsteht eine Ortsveränderung, eine Fortbewegung. Damit ist indeß die Erscheinung des geschleuderten oder von der Wand zurückprallenden Balles noch keineswegs vollkommen erklärt. Die Fortbewegung ist durchaus nicht die unmittelbare Folge des Stoßes. Wie jede Wirkung einer Kraft, so bedarf auch die des Stoßes einer gewissen Zeit, um sich dem ganzen Körper mitzutheilen. Augenscheinlich überzeugt man sich davon an dem gespannten Seile, wenn man von oben her einen Schlag darauf führt. Man sieht deutlich, wie der Stoß in Form einer Welle das Seil durchläuft, indem er von einem Theile desselben dem andern sich mittheilt. Wie unmerklich klein die Zeit bisweilen auch sein mag, in welcher der

Stoß sich durch einen Körper vertheilt, immerhin kann sie eine ganze Reihe von Bewegungserscheinungen umfassen.

Die nächste Wirkung, welche ein Stoß auf den Ball ausübt, wird darin bestehen, daß er an der Berührungsfläche durch den gesteigerten Druck einige Theile in das Innere des getroffenen Körpers hinein zu drücken sucht. Die dadurch bewirkte plötzliche Verdichtung erstreckt sich wachsend bis auf eine gewisse Tiefe des Körpers und geht allmälig abnehmend in den gewöhnlichen Zustand des Körpers über. Diese Verdichtung kann aber nicht unbeweglich an der Stelle bleiben, an welcher sie hervorgebracht wurde; das beweisen schon die fortschreitenden Wellen des gespannten und in Schwingung versetzten Seiles. Das Streben der gedrückten Theile nach Ausgleichung wirkt drückend auf die benachbarten und pflanzt so die Verdichtung durch den ganzen Körper fort. Hat sie endlich den ganzen Körper durchlaufen, so zeigt sich, daß sie ihn um ebenso viel ausgedehnt hat, als er durch den Stoß zusammengedrückt war. Aber diese Ausdehnung konnte nur nach einer Richtung hin erfolgen, weil ihr nach der andern der stoßende Körper Widerstand entgegen setzte. So mußte sich der elastische Körper in der That fortbewegen. Aber auch die innere Bewegung ist damit noch nicht zu Ende. Jede Störung des Gleichgewichts bringt ein Schwanken um eine Gleichgewichtslage hervor. Sie erweckt Kräfte, welche, sobald die störende Kraft aufgehört hat zu wirken, die verrückten Theile in ihre Ruhelage zurückzuführen streben. Diese ertheilen also den Theilen eine rückgängige Bewegung mit einer Geschwindigkeit, die, stetig wachsend, sie über ihre Gleichgewichtslage hinausführt und eine Verrückung derselben nach der andern Seite hervorbringt. Sobald die verrückten Theile aber ihre Gleichgewichtslage wieder überschritten haben, so widersetzen sich dieselben Kräfte ihrer weiteren Bewegung, vernichten sie endlich und zwingen dieselben verrückten Theile, wieder eine rückgängige Bewegung zu ihrer Gleichgewichtslage anzutreten, über die sie wieder hinausgeführt werden, um von Neuem in eine rückgängige Bewegung überzugehen. So entsteht ein andauerndes Schwanken um einen Gleichgewichtspunkt, ein Vibriren oder Schwingen, mit andern Worten, es entstehen Wellen.

Es ist also nicht das Wasser allein der Schauplatz der Wellenbewegung, die ganze Welt ist ein wogender Ocean. Jeder Stoß erregt Schwingungen; der geworfene Stein, der Windeshauch sind Zeugen verborgener Wellen. Das Bild des zurückgeworfenen Balles gilt in Wirklichkeit für die vom Ufer zurückeilende Welle.

Die Schwingungen, welche der Stoß in dem elastischen Balle hervorruft, die abwechselnden Verdichtungen und Verdünnungen, welche mit Recht gleichfalls Wellen oder, zum Unterschiede von den durch ihre Erhöhungen und Vertiefungen jene schöne Form erzeugenden Wasserwellen *Verdichtungswellen* genannt werden können, diese Wellen sind es, die in ihrem Fortschreiten dem gestoßenen Balle seine Fortbewegung geben. Von jenem Punkte, in welchem der Stoß geschah und der Widerstand des stoßenden Körpers fortwirkt, geht eine Welle nach der andern aus, strömt die ganze Masse des Körpers gleichsam in der Richtung des Stoßes fort. Jede neue Schwingung hat eine neue Verrückung des ganzen Körpers zur Folge, und so schnell folgen die Verrückungen einander, daß sie für die Wahrnehmung sich in eine einzige stetige Bewegung zusammensetzen. Die Richtung der Wellen also ist es, welche auch die Richtung des gestoßenen Körpers bestimmt, und seine Bewegung ist, gerade wie die Welle des Wassers, nur die erscheinende Form der verborgenen und durch Mittheilung fortschreitenden inneren Bewegung. Wie schnell diese Mittheilung erfolgt, davon kann man sich überzeugen, wenn man von mehreren in einer Reihe neben einander liegenden Kugeln die erste anstößt. Augenblicklich setzt sich die letzte in Bewegung, als hätte sie unmittelbar den Stoß erhalten, während alle übrigen Kugeln in völliger Ruhe bleiben. So schnell also hat die Wirkung des Stoßes, die Verdichtungswelle, alle diese Kugeln durchlaufen und sich der letzten mitgetheilt, die nun, da sie keinen Widerstand vor sich findet, in Bewegung geräth.

Wenn man die wechselnden Verdichtungen und Verdünnungen, welche der Stoß in elastischen Körpern erregt, auch mit unzweifelhaftem Rechte mit demselben Namen belegt, wie die auf- und niederschwankenden Biegungen des gespannten Seils, so besteht zwischen beiden Wellenbewegungen doch ein wesentlicher Unterschied. Hier wie dort allerdings findet ein Wechsel von Veränderungen, ein Schwingen von Theilchen, hier wie dort eine Mittheilung von Veränderungen, eine fortschreitende Bewegung statt. Aber bei dem Seile geschehen diese Schwingungen auf und nieder, quer gegen die Richtung des Seiles und der fortschreitenden Bewegung; hier in dem elastischen Balle gehen die Schwingungen der Verdichtungswellen in derselben Richtung vor sich, in welcher sie fortschreiten. Dort schwingen die Theilchen auf und nieder, hier hin und her. Man kann diese Unterschiede am besten bezeichnen, wenn man die Schwingungen des Seiles *Querschwingungen* (Transversalschwingungen), die des gestoßenen elastischen

Körpers Längsschwingungen (Longitudinalschwingungen) nennt. Freilich trennt die Natur nicht so scharf, wie damit angedeutet scheinen könnte. Auch die Biegungen des Seiles, welche die Querschwingungen seiner Theilchen veranlassen, können nicht ganz ohne gleichzeitige Ausdehnungen und Zusammenziehungen des Seiles erfolgen. Das schwingende Seil a c b ist offenbar länger, als das in seiner Ruhelage a e b (Fig. 64). Es müssen also gleichzeitig mit den Biegungen abwechselnde Entfernungen und Annäherungen der Theilchen, gleichzeitig mit den Querschwingungen des Seiles auch Längsschwingungen seiner Theilchen stattfinden. Aber auch in dem gestoßenen Balle können neben den Längsschwingungen der Verdichtungswellen Querschwingungen eintreten. Wenn der Stoß a d (Fig. 65), welcher die Schwingungen erregt, ein schiefer, d. h. nicht gegen den Schwerpunkt c des Balles gerichteter ist, so zerlegt sich seine Wirkung in einen doppelten Stoß, in einen gegen den Schwerpunkt gerichteten a e, welcher die Verdichtungswellen und damit die fortschreitende Bewegung des Balles in der Richtung a e bewirkt, und in einen darauf senkrechten a b, welcher ebenso abwechselnde Biegungen des Balles quer gegen die Richtung der Fortbewegung, also Querschwingungen hervorrufen muß. In Folge dieser Querschwingungen sieht man den Ball eine rotirende, drehende Bewegung annehmen, ganz ähnlich der rotirenden Bewegung der Wassertheilchen in der Wasserwelle, nur hier vom ganzen Körper ausgeführt wegen des innigen Zusammenhanges seiner Theile. Jedes Theilchen des drehend fortfliegenden oder fortrollenden Balles beschreibt in der That dieselbe Wellenform, welche die Summe der sämmtlichen schwingenden Wassertheilchen in jedem Augenblicke erzeugt.

Fig. 64.

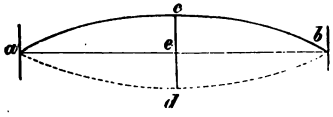
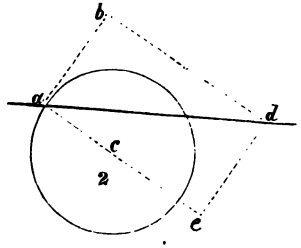


Fig. 65.



Während also die Längsschwingungen sowohl als Querschwingungen, wenn sie getrennt für sich stattfinden, nur geradlinige Bewegungen der Theilchen gestatten, bringen sie vereint kreisförmige oder

elliptische Bahnen hervor. Auch die Theilchen des Seiles schwingen der kleinen Längsschwingungen wegen, genau genommen, in schmalen elliptischen Bahnen. Mit der wogenden Wasserfläche hat es seine besondere Bewandtniß. So sehr ihre Wellen dem äußeren Scheine nach den Wellen des Seiles gleichen, so finden doch jene kleinen Verdichtungen, wie sie die Biegungen des Seiles erfordern, bei dem außerordentlichen Widerstande, den das Wasser jedem Verdichtungsversuche entgegensetzt, hier nicht statt. Für diese Verdichtungswellen und Längsschwingungen tritt aber hier die leichte Verschiebbarkeit der Wassertheilchen ein, die im Vereine mit den durch den Stoß erregten Querschwingungen jene kreisförmigen Bahnen der Wellentheilchen erzeugen, wie sie bereits beschrieben wurden.

Die Luftschwingungen.

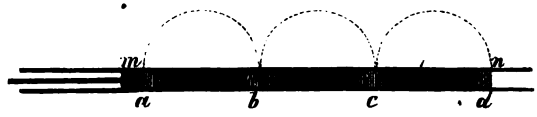
Jeder Stoß regt in elastischen Körpern eine Reihe wechselnder Bewegungen, Biegungen, Verdichtungen, Schwingungen an, jeder Stoß erzeugt Wellen. Aber seine Wirkungen gehen darüber hinaus, ihre Kette ist unabsehbar. Der Glockenklang, der aus der Ferne unser Ohr trifft, verhallt mit dem Schwunge der Glocke. Das Lied des vorbeiziehenden Wanderers verstummt mit dem Schlusse seiner Lippen. Es sind also Bewegungen, deren Kunde aus der Ferne zu uns dringt, und zwar nicht durch Ortsveränderung, sondern allein durch unser Gehör. Auch in unserem Ohre müssen darum durch jene schwingengenden Körper gewisse Veränderungen, Bewegungen bewirkt worden sein, die unsere Vorstellung als von jenen ausgehend empfinden läßt. Wir hören nicht eigentlich jene Bewegungen selbst, sondern nur ihre Wirkungen. Es sind neue, mit jenen harmonirende Schwingungen, Wellen, die in unserm Ohre rauschen und wogen. Diese Wellen können aber nicht anders in unserm Ohre entstehen, als durch Wellen, die sich vorher von den Schwingungen der Glocke oder der singenden Kehle zu dem Ohre fortpflanzten und, an seine zarten Nervenhäute wie an elastische Uferwände schlagend, ihnen ähnliche Schwingungen mittheilten. Die Luft also muß der Träger sein, welcher jene Wellen zu uns geleitet, auch sie muß in einen wogenden Ocean verwandelt werden durch die Schwingungen der tönenden Körper.

Daß die Luft wirklich an den Bebungen tönender Körper Theil nimmt, davon kann man sich schon durch das Auge überzeugen, wenn man auf das Hüpfen des Staubes auf dem Resonanzboden eines

Claviers achtet; das kann man selbst fühlen, wenn man sich in der Nähe einer Kanone im Augenblicke des Abfeuerns befindet, oder wenn der rollende Donner die Fenster erschüttert. Jeder Schall besteht in der That in Erzitterungen der Luft oder in Luftwellen, die im Stande sind, in unserem Ohre ähnliche Wellen, Schallempfindungen, anzuregen.

Die Natur dieser Luftwellen ist durch die Wirkung bedingt, welche ein Stoß auf die Luft ausübt. Wäre die Luft so wenig zusammendrückbar als das Wasser, so würde sie durch den Stoß eines Stempels in eine Röhre, wie etwa die Knallbüchse der Kinder, augenblicklich hinausgeschleudert werden, wie wir es sehen, wenn diese Knallbüchse mit Wasser gefüllt ist. Aber die Luft gehört gerade zu den elastischesten, der Ausdehnung und Zusammendrückung fähigsten Stoffen. Der Druck des Stempels bedarf also, gerade wie die Wirkung des Stoßes auf den elastischen Ball, einiger Zeit, um sich durch die ganze Luft des Rohres zu verbreiten. Nur auf eine gewisse kleine Strecke a b (Fig. 66)

Fig. 66.

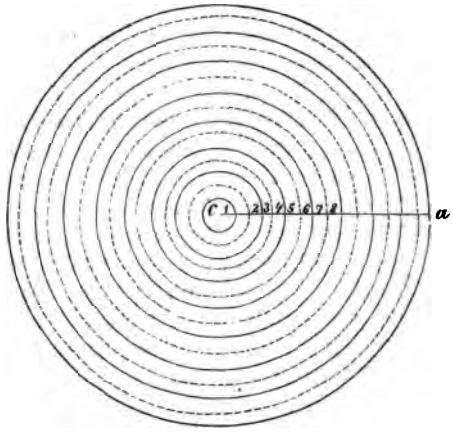


vor dem Stempel wird die Luft in dem ersten Augenblicke nach dem Stoße eine Zusammendrückung erlitten haben. Jedes Lufttheilchen auf dieser Strecke ist in einer Bewegung, deren Geschwindigkeit von dem Stempel an wächst, bis sie durch den Widerstand allmälig geschwächt und endlich vernichtet wird. Die Luftverdichtung erreicht also ihr höchstes Maß in der Mitte der zusammengedrückten Luftschicht. Kaum aber ist diese Verdichtung vollendet, so tritt das im Wesen jedes Stoffes begründete und als Elasticität bezeichnete Streben nach Wiederherstellung des alten Gleichgewichts ein und treibt die zusammengedrückte Luft, sich wieder auszudehnen. Die durch den Stoß des Stempels bewegten Lufttheilchen kehren zur Ruhe zurück, werden aber von der wachsenden Kraft der Ausdehnung darüber hinausgetrieben, kehren wieder um und gerathen so in ein pendelartiges Hin- und Herschwanken, das abwechselnde Verdichtungen und Verdünnungen zur Folge hat, ähnlich dem pendelartigen Rotiren der Wassertheilchen,

welches die Form der Welle hervorrief. In dem Augenblicke aber, wo die zunächst vom Stempel getroffene Luftschicht ihre erste Verdichtung vollendete, wird in der folgenden Schicht eine gleiche Bewegung veranlaßt, die sich von Theilchen zu Theilchen fortsetzt, bis die ganze Luftsäule der Röhre in eine Reihe von abwechselnden Verdichtungen und Verdünnungen übergegangen, gleichsam von der ursprünglichen Verdichtungswelle durchlaufen ist.

Wie hier in der geschlossenen Röhre, so muß jeder Stoß in der rings umgebenden Luft solche Verdichtungs- und Verdünnungswellen erzeugen. Man kann sich die Wirkung eines solchen Stoßes in der Luft am besten unter dem Bilde einer elastischen Kugel vorstellen, welche sich zuerst von innen heraus abwechselnd bald ausdehnt, bald zusammenzieht und so eine Reihe von Verdichtungen und Verdünnungen um sich herum bildet, die, wie die kreisförmigen Wellen im Wasser, hier kugelförmig in die Ferne verlaufen (Fig. 67). Jede solche Verdichtung bildet im Vereine mit der durch sie hervorgebrachten Verdünnung eine Welle, die Verdichtung den Wellenberg, die Verdünnung das Wellenthal. Die Breite der Welle wird durch den Raum bestimmt, welchen ein einzelnes Lufttheilchen durchläuft, während es seine ganze Schwingung vollendet.

Fig. 67.



Wenn demnach der Schall wirklich auf einer Wellenbewegung beruht, so ist es wirklich ein wogendes Meer, das uns umgiebt, und dessen Wellen, in den Körpern erregt, die Luft durchzittern, bald von Widerständen aufgehalten und zurückgeworfen, bald das Festeste selbst durchdringend und in Schwingungen fortreißend, endlich an die gespannten Häute unseres Ohres schlagen und von unsern Nerven empfunden, gehört werden. Dann ist, was wir Schall nennen, nur das Erzittern eines Körpers,

und unser Hören zunächst nur die Empfindung von Wellen, die kräftig genug sind, um von dem schallenden Körper zu unseren Gehörsnerven zu gelangen.

Geschwindigkeit und Fortpflanzung des Schalles.

Wie jede Bewegung, so gebraucht auch der Schall Zeit, um sich durch die Luft dem Ohre mitzutheilen. Gerade wie erst lange, nachdem der Stein versank, die Welle, die er im Wasser erregte, an das Ufer schlägt, ist auch der Schall nicht blos ein Bote aus der Ferne, sondern auch ein Bote längst vergangener Dinge. Man sieht aus einiger Entfernung den Hammer früher auf den Ambos fallen, ehe der Schall des Schlages vom Ohre vernommen wird. Man sieht das Pulver der abgefeuerten Kanone früher aufblitzen, ehe der Donner des Schusses sich vernehmbar macht.

Wenn der Schall eine Wellenbewegung ist, so kann seine Geschwindigkeit nur von der Elasticität der Luft und von ihrer Dichtigkeit abhängig sein. Man muß also im Stande sein, diese Geschwindigkeit gerade so zu berechnen, wie die des freien Falles. Man kann aber auch unmittelbar beobachten, die Zeit selbst messen, in welcher der Schall, etwa der eines Kanonenschusses aus einer genau gemessenen Entfernung herüberdringt. Aber Theorie und Erfahrung scheinen hier einmal in ihren Ergebnissen nicht zu vereinigen zu sein. Während die Beobachtung für die Geschwindigkeit des Schalles in der Luft ungefähr 1058 Fuß in der Secunde ergiebt, verlangt die Berechnung eine bedeutend geringere Geschwindigkeit von nur 868 Fuß. Die Beachtung eines Nebenumstandes löst indessen diesen Widerspruch. Die Schallwellen bestehen in wechselnden Verdichtungen und Verdünnungen; jede Verdichtung aber ist mit Wärmeentwickelung verbunden. Die in dieser Weise durch die Schallwellen stets frei werdende Wärme, die für das Thermometer freilich in den unmittelbar mit den Verdichtungen zugleich erfolgenden Verdünnungen verloren geht, muß aber auf die Geschwindigkeit des Schalles eine beschleunigende Wirkung ausüben, da das erhöhte Bestreben nach Ausdehnung und Zusammenziehung offenbar einer Vergrößerung der Elasticität gleichkommt.

Ueberhaupt ist für die Geschwindigkeit des Schalles eine allgemeine Bestimmung nicht gut denkbar. Bei einer so zarten Bewegung, wie sie in den Verdichtungs- und Verdünnungswellen des Schalles stattfindet, und bei einer so sprichwörtlichen Veränderlichkeit des Elementes,

in welchem diese Wellen fließen, ist es begreiflich, daß auch ihre Geschwindigkeit eine veränderliche ist. Dichtigkeit und Spannung, Temperatur und Feuchtigkeit der Luft sehen wir in beständigem Wechsel begriffen und können diesen Wechsel an unseren Instrumenten, Barometer, Thermometer, Hygrometer, von Stunde zu Stunde verfolgen. Solche Veränderungen können nicht ohne Bedeutung für die Geschwindigkeit des Schalles sein. Manche dieser Einflüsse mögen allerdings in ihren Resultaten einander wieder aufheben. So werden Dichtigkeit und Spannung gerade in entgegengesetztem Sinne auf die Geschwindigkeit der Wellenbewegung einwirken, diese sie beschleunigen, jene sie verzögern. Da nun Dichtigkeit und Spannung der Luft stets in demselben Verhältnisse ab- und zunehmen, so kann auch der Wechsel des Barometerstandes keinen Einfluß auf die Geschwindigkeit des Schalles ausüben. Ebenso scheint auch die Bewegung der Luft, der Wind, die Schallbewegung völlig unberührt zu lassen. Die Wellen fließen ungestört mit den bewegten Luftschichten fort, ungestörter, als die Wellen des fließenden Wassers, die wenigstens in der oberflächlichen Form eine Veränderung zeigen. Ganz anders aber muß die Wärme auf die Bewegung des Schalles einwirken. Die Wärme dehnt die Luft aus, und ihre Wellen durchlaufen darum größere Strecken. Die Geschwindigkeit des Schalles wächst daher mit der zunehmenden Wärme der Luft, und wie gering auch die ausdehnende Kraft ist, so beträgt doch ihre Wirkung auf die Geschwindigkeit des Schalles eine Vermehrung um fast 2 Fuß in der Secunde für jeden Wärmegrad. Gilt daher die erwähnte Schallgeschwindigkeit von 1058 Fuß in der Secunde für den Gefrierpunkt, also für den Winter, so wird sie im Sommer für eine Temperatur von 21° auf 1100 Fuß anzuschlagen sein. Wie freilich so oft die Naturkräfte gerade in ihren unmeßbaren und aller Wahrnehmung sich entziehenden Wirkungen die bedeutendsten Aenderungen schaffen, so sahen wir auch hier die von dem feinsten Thermometer unerreichbaren Wärmemengen, welche der Schall selbst in seiner Luftverdichtung beständig erzeugt, noch weit bedeutendere Beschleunigungen des Schalles hervorrufen, die es erklärten, daß die berechnete Geschwindigkeit um mehrere hundert Fuß in der Secunde hinter der wirklich beobachteten zurückblieb.

Endlich aber ist es auch noch die Feuchtigkeit der Luft, der Wasserdampf, von dem sie bald mehr, bald minder erfüllt ist, welcher verändernd auf die Schallgeschwindigkeit einwirkt. Es läßt sich ja voraussehen, daß andere Elemete als die Luft, daß Wasser, Dämpfe

und vollends feste Körper von dem Schalle auch mit einer ganz andern Geschwindigkeit durchlaufen werden müssen, da eine andere Dichtigkeit, eine andere Elasticität, eine andere Beweglichkeit der Theilchen die Mittheilung ihrer Bewegungen bald erleichtern, bald erschweren müssen.

Die Flüssigkeiten sind nicht allein das Reich der Wellenbewegung; Dichtigkeitswellen durchlaufen ja auch den elastischen Ball, wenn er von der Wand zurückprallt. Es widerspricht daher keineswegs der Auffassung des Schalles als einer Wellenbewegung, wenn er auch durch Fenster, durch Wände und Mauern hindurchdringt. Die Erfahrung lehrt sogar, daß starre Körper meist eine bessere und schnellere Leitung für den Schall darbieten, als die dünne, flüssige Luft. Die meisten Metalle und Hölzer werden von dem Schalle mit einer 10- bis 15mal größeren Geschwindigkeit durchlaufen, als die Luft. Man kann sich leicht davon überzeugen, wenn man das Ohr an das eine Ende einer langen eisernen Röhrenleitung legt. Man wird überrascht sein von der fast augenblicklichen Wirkung eines am andern Ende ausgeführten Hammerschlages auf das Gehör. Dem ersten Anscheine nach könnte man diese Thatsache für unvereinbar halten mit der größeren Dichtigkeit der festen Körper, die doch den Verdichtungen der Schallbewegung hinderlich sein muß. Aber jedenfalls spielt die Elasticität hier eine bedeutende Rolle, indem sie die einmal bewirkten Verdichtungen außerordentlich schnell wieder aufzuheben strebt. Daraus erklärt sich auch die große Leitungsfähigkeit, welche das Wasser für die Bewegung des Schalles zeigt. Kein Körper widerstrebt so sehr jeder Zusammendrückung, wie das Wasser, und dennoch vermag es den zarten Verdichtungsstößen des Schalles nicht zu widerstehen, sondern verbreitet sie sogar mit mehr als 4facher Geschwindigkeit durch seine Masse fort. Darum ist auch das Wasser keineswegs eine stumme Welt und dem schönen Reiche der Töne nicht verschlossen. Aus seinem Grunde schallt der Stoß des fallenden Ankers herauf, tief unter seiner Oberfläche vernimmt der Fisch den Klang des Glöckchens, das ihn zur Fütterung ruft, und wenn wir selbst unter die Fluthen tauchen, hören wir besser als in der Luft jedes Geräusch draußen, jeden Ton drinnen in dem trägen, unelastischen Elemente.

Die Stärke des Schalles.

Wie jede Welle, verliert sich auch der Schall in der Ferne. Immer weiter breiten sich die Kreise aus, immer geringer werden die

Verdichtungen und Verdünnungen, bis endlich das Ohr sie nicht mehr zu unterscheiden, die letzten leisen Bewegungen nicht mehr zu empfinden vermag. Die Stärke des Schalles, von welcher auch sein Eindruck auf die Empfindung abhängt, wird natürlich, wie die Wirkung jeder andern Bewegung, durch die Geschwindigkeit sowohl, als durch die bewegte Masse gemessen. Man darf sich indeß ebenso wenig, wie bei den Wasserwellen, durch den Schein täuschen lassen und etwa das Fortschreiten der Wellenform oder die fortschreitende Mittheilung der ursprünglichen Erschütterung, d. h. die Verbreitung und Leitung des Schalles, für die wirkliche Bewegung nehmen. Hier wie dort ist es nur die kurze schwingende Bewegung der einzelnen Theilchen, dort in kreisförmigen Bahnen, hier nur in gerader Linie hin- und hergehend, dort Berge und Thäler, hier Verdichtungen und Verdünnungen erzeugend, welche als Bewegung wirken und gelten kann. War es dort die Höhe des Wellenberges, so ist es hier die Größe der Verdichtung oder vielmehr der Unterschied zwischen Verdichtung und Verdünnung, welcher die Geschwindigkeit der Theilchenbewegung und damit die Wirkung der Bewegung selbst mißt. Wie auf dem Meere das wildeste Bild des Wellenaufruhrs hochgethürmte Wellenberge neben gähnenden Abgründen zeigt, so zeigt der stärkste Schall die schroffsten Gegensätze von Verdichtung und Verdünnung in unmittelbarer Aufeinanderfolge. Je dichtere Wellen also das Ohr treffen, desto kräftiger wird auch ihre Wirkung sein; desto größer ist nicht allein die in ihnen bewegte Masse, sondern desto geschwinder ist auch die Bewegung in ihnen.

Wenn die Stärke des Schalles für die Empfindung unseres Ohres in dem Unterschiede zwischen Verdichtung und Verdünnung beruht, so wird diese Stärke zunächst abhängen von der Erschütterung des schallenden Körpers selbst, welche die fortschreitenden Verdichtungswellen anregt. Das Geläute der Glocke hallt darum weiter als die menschliche Stimme, und der Schall eines Kanonenschusses vermag noch Fenster zu zersprengen, wo der Pistolenschuß kaum mehr gehört wird. Aber auch die Empfänglichkeit der den Schall fortleitenden Körper für solche Verdichtungen muß auf die Verstärkung oder Schwächung des Schalles einen Einfluß haben. Jene festen, dichten Körper also, die sich bereits für die Geschwindigkeit der Mittheilung so günstig zeigten, müssen auch für die Verstärkung des Schalles die geeignetsten sein. Wenn man das Ohr auf den Tisch legt, vernimmt man das leiseste Klopfen unter demselben als lärmendes Geräusch. Wenn man

einen Faden oder eine Saite zwischen den Zähnen faßt und anspannt, wird jede Schwingung zu einem lauten Summen. Aehnliche Mittel werden wohl benutzt, um schwerhörigen Personen den Genuß der Musik zu verschaffen. Man läßt sie einen Metalldraht zwischen den Zähnen halten, der mit dem Resonanzboden eines Claviers in Verbindung steht und nun durch seine Schwingungen ihrem sonst für Schallbewegungen unzugänglichen Ohre alle Töne des Claviers zuführt. Die kräftige Leitungsfähigkeit des Wassers für den Schall ist bereits erwähnt, aber auch die festen Gesteine des Erdbodens verstärken ihn. Auf außerordentliche Entfernungen hin über das Meer oder durch den Erdboden vernimmt man den Donner einer Schlacht oder das Gebrüll eines vulkanischen Ausbruchs. In Bergwerken hören die Arbeiter weithin durch das Gestein die Schläge der in benachbarten Stollen arbeitenden Knappen. Bei Belagerungen, wo Belagerer und Belagerte oft die entscheidendsten Kämpfe in der Tiefe unter dem Erdboden ausführen, wo sie mit Minen und Gegenminen einander den Boden unter den Füßen und unter Mauern und Wällen unsicher zu machen suchen, verräth oft das Hüpfen von Erbsen auf dem gespannten Felle einer Trommel aus weiter Ferne und durch mächtige Gesteins- und Erdmassen hindurch die Hackenschläge der Minenarbeiter.

Gerade der Hauptträger des Schalles, die Luft, scheint somit am trägsten für seine Bewegungen zu sein. Gerade hier scheinen sich die Schallwellen am leichtesten zu verlieren, indem sie sich mit der Entfernung in quadratisch wachsendem Verhältnisse zerstreuen und schwächen. Bisweilen glaubt man jedoch die Erfahrung zu machen, als ob die Luft unter gewissen Umständen eine besondere Empfänglichkeit für den Schall zeige, als ob man z. B. bei Nacht besser höre, als bei Tage, im Winter und bei heiterem Himmel besser, als im Sommer und bei Nebel und Regenwetter. Dann aber glaubt man, seiner Beobachtung nicht recht trauen zu dürfen, und meint, die Ursache viel eher in einer größeren Empfindlichkeit des Ohres oder in einer gesteigerten Aufmerksamkeit suchen zu müssen, als in wirklich verschiedenen Zuständen und Fähigkeiten der Luft. Dennoch beruht diese Beobachtung auf keiner Täuschung. Wenn kühne Bergbesteiger von dem feierlichen Schweigen erzählen, das über den Schneefeldern der hohen Alpengipfel schwebe, so dürfte es nicht blos der Anblick der traurigen, kalten Einöde, nicht blos das Gefühl des Verlassenseins in starrer Wüste sein, wodurch die aus der Abwesenheit lebender tonerzeugender Wesen ohnehin erklärliche Stille ein so beängstigendes Gepräge erhält. Eine weit

materiellere Ursache liegt vielmehr dieser Erscheinung zu Grunde. Die Stärke des Schalles nämlich hängt bekanntlich von der Dichtigkeit der leitenden Luft ab. Hier in diesen Höhen also, wo durch den verringerten Luftdruck die Luft eine solche Verdünnung erfährt, daß sie kaum noch die Athmung zu unterhalten vermag, daß das Blut in den Gefäßen seine Wandungen sprengt, daß die Schenkelköpfe selbst nicht mehr den nöthigen Halt in ihren Pfannen finden, hier muß auch die Schallwelle eine solche Schwächung erleiden, daß in der That der Pistolenschuß kaum dichtere Wellen und darum kaum eine stärkere Empfindung im Ohre hervorzubringen vermag, als ein kräftiger Handschlag in der dichteren Atmosphäre unserer Ebenen. Ganz die entgegengesetzte Erscheinung muß darum in den kalten, aber dichten Luftschichten eisiger Polarländer eintreten, und in der That erzählen die Reisenden in jenen Gegenden, daß sie die menschliche Stimme bis auf Entfernungen von einer Viertelmeile deutlich zu vernehmen vermochten. Aber auch in unseren Breiten muß der Wechsel der Jahreszeiten, ja, streng genommen, jeder Wechsel des Barometerstandes ähnliche Veränderungen in der Stärke des Schalles erzeugen. Wir müssen in der Kälte des Winters besser hören, als an heißen Sommertagen, an denen überdies der üppigere Pflanzenwuchs der Verbreitung der Schallschwingungen hemmend entgegentritt.

Nach einem sehr allgemein herrschenden Glauben soll man auch zur Nachtzeit besser hören, als am Tage. Man pflegt das aus einer gesteigerten Schärfe und Aufmerksamkeit des Gehörs in der Nacht zu erklären, die theils mit der ruhenden Thätigkeit der übrigen Sinne, namentlich des Gesichts, theils auch mit dem Wegfall der vielfachen Störungen des Tageslärms im Zusammenhange stehe. Aber auch in den öden, menschenleeren Steppen und Wüsten Asiens und Amerikas haben aufmerksame Beobachter der Natur solche Unterschiede in auffallendster Weise bemerkt. Es müssen also doch auch andere, außerhalb liegende Ursachen bei dieser Schwächung und Verstärkung des Schalles zu verschiedenen Tageszeiten mitwirken. Die Dichtigkeitsunterschiede der leitenden Luft sind es jedenfalls nicht, sie sind zu unbedeutend, um vom Ohre empfunden zu werden. Aber die Störung der Schallwellen durch andere Bewegungen ist gewiß nicht ohne Einfluß. Schon jede Vermischung mehrerer Schalleindrücke, selbst wenn diese gar nicht zum Bewußtsein kommen, muß eine Schwächung des Schalles bewirken. Jede Schallwelle, die durch Hindernisse veranlaßt wird, schwache Nebeneindrücke zu erzeugen, neue Wellenreihen aus-

zusenden, welche andere Richtungen verfolgen und zu anderer Zeit das Ohr erreichen, als der Hauptschall, verliert offenbar an ihrer Wirkung. Man erfährt es oft genug, wenn man mehrere schnell hinter einander folgende Laute der Musik oder der Rede auffassen will, wie störend die Nebeneindrücke der vorhergehenden Laute auf die Wahrnehmung der folgenden einwirken. Selbst Laute, die in solchen Entfernungen erzeugt werden, daß sie an sich zwar unsere Aufmerksamkeit nicht mehr erregen, daß sie von uns als Schall überhaupt nicht mehr empfunden werden können, sind doch noch im Stande, andere Eindrücke zu schwächen, die in unser Bewußtsein gelangen. Solcher Störungen finden nun am Tage Tausende selbst in der ruhigsten Natur statt. Jedes Blatt, jeder Strohhalm, jede Unebenheit des Erdbodens, jeder Windstoß vermag sie zu veranlassen. Namentlich aber ist es die Sonnenwärme, welche beständig eine Menge von untergeordneten Bewegungen, wenn es auch nicht Schallwellen sind, in der Luft erzeugt durch die Wärmeunterschiede, die jeder Stein und jedes Blatt zeigt, die unter dem Einflusse der Schatten von Bäumen und Wolken, die selbst durch die Zurückwerfung der Sonnenstrahlen in den verschiedenen Luftschichten überall, auf üppig bewaldeten Fluren, wie auf dürren Sandwüsten, stattfinden. Diese zahllosen Luftströmungen, die warmen und kalten, die auf- und niedersteigenden, wie die hin und wieder von Gegenstand zu Gegenstand über die Flur streichenden, sind es wohl vorzugsweise, welche die auffallende Schwächung des Schalles zur Tageszeit veranlassen.

Es ist also nicht gerade eine Täuschung, wenn man der Stille der Nacht ein Tönen und Schallen zuschreibt, das dem geräuschvolleren Tage fremd ist; und es ist auch nicht der verschärfte Sinn des Gehörs allein, sondern zugleich der eigenthümliche Zustand der Nachtluft, welcher Bewegungen als Töne empfinden läßt, die sonst unempfunden am Ohre vorübergehen. Darin beruhen jene Schauer, mit denen uns die Töne der Nacht erfüllen, wenn sie, unvermittelt von Auge und Verstand, aus geheimnißvollem Dunkel hervordringend, nicht das Ohr allein, sondern alle Empfindungsnerven unseres Körpers erschüttern und in der Phantasie allein ihre Deutung finden. Darin beruhen jene seltsamen Naturtöne, die der Aberglaube aller Völker an ein geheimnißvolles Jenseits knüpft, bald als warnende oder drohende oder klagende Geisterstimmen, bald als Schritte nahender Geister auffaßt, und die doch nur in Vogelstimmen, im Rauschen des vom Winde bewegten Sandes, oder im Rasseln dürrer, vom Nachthauche entführter

Blätter auf einsamen Wald- und Wüstenpfaden ihre Erklärung finden. Man ist einmal geneigt, Wunder zu sehen, wo man Veränderungen, und nicht zugleich die verändernde Ursache gewahrt. Man sieht keine Wunder, wenn man auch nur meint, die störende Ursache gefunden zu haben, so wenig man auch im Stande sein mag, den Zusammenhang nachzuweisen. Man wundert sich darum nicht, wenn man bei heiterem, stillem Wetter über ruhigem Wasserspiegel oder weiter Eisfläche das Läuten ferner Glocken deutlicher hört, als wenn Stürme, Regentropfen und Schneeflocken die Schallwellen unterbrechen und stören. Man wundert sich nicht, wenn aus dichtem Nebel von weiter Ferne das Geräusch einer Stadt oder einer Landstraße mit einer Deutlichkeit entgegenschallt, als ob man sich mitten darin befände. Man glaubt hier doch schwächende oder verstärkende Ursachen zu sehen, obgleich man von der Wirkungsweise dieser sichtbaren Ursachen vielleicht gerade so wenig weiß, als von der jener unsichtbaren Strömungen, welche zur Tageszeit die Schallwellen stören und schwächen.

Die Zurückwerfung der Schallwellen.

Wenn es Wellen sind, die den Schall erregen und zu unserem Ohre leiten, Wellen, die nicht blos die Luft, sondern auch feste Gesteine, den Erdboden, das Wasser, die Wände unserer Häuser und unsern eigenen Körper durchzittern, so müssen diese Wellen so gut, wie die Wogen des Oceans, auch ihre Ufer und Klippen finden, an denen sie brandend sich brechen. Auch die Schallwellen müssen, wie die Wasserwellen, von Widerständen zurückgeworfen, von Oeffnungen gebeugt werden und in ihrer Kreuzung und Begegnung jene seltsamen Erscheinungen der Interferenz, der Verstärkung und Schwächung zeigen.

Eine Zurückwerfung der Schallwellen wird zunächst nur vom Ohre erkannt werden, und zwar aus einer Wiederholung der Empfindung. Ein zurückgeworfener Schall muß zweimal gehört werden. Jede Empfindung aber hat ihre Grenzen; liegen die Eindrücke zu nahe, oder folgen sie zu schnell auf einander, so fließen sie für die Empfindung in einen zusammen.

Zwei gleichzeitig in kleinen Entfernungen von einander bewirkte oder zwei kurz auf einander folgende Stiche werden an unsern meisten Körpertheilen von unserm Tastgefühle als ein einziger Stich empfunden. Auch unser Ohr vermag nur etwa 10 Schalleindrücke im Zeitraume einer Secunde als wirklich getrennt zu empfinden. In einer Secunde

aber durchfliegt die Schallwelle in der Luft 1058 Fuß. Die Erregungspunkte solcher Schallwellen, die noch für unser Ohr einzeln empfunden werden sollen, müssen also wenigstens um 106 Fuß von einander entfernt sein. Soll daher eine Schallwelle in einer für unser Ohr vernehmlichen Weise zurückgeworfen werden, so muß die zurückwerfende Wand mindestens 53 Fuß von unserm Ohre entfernt sein, so daß zwischen ihrem ersten Eindrucke beim Entstehen und ihrem zweiten bei der Rückkehr ein Zeitraum von $^1/_{10}$ Secunde liegt, der zum Durchlaufen der doppelten Strecke zur Wand und von der Wand verbraucht wurde. So kann zwar jeder Schall, jedes Wort aus unserm Munde, jeder Schlag, jeder Fußtritt beständig zurückgeworfen werden, da sich Widerstände genug allenthalben befinden; aber diese Widerstände sind meist so nahe, daß die zurückgeworfenen Schallwellen mit den ursprünglichen in einander fließen, gerade wie die Lichteindrücke einer im Kreise geschwungenen glühenden Kohle zu einem einzigen Feuerringe verschmelzen. Darum können wir in unseren Zimmern sprechen, ohne durch den Nachhall unserer Worte gestört zu werden, während man in großen Kirchen und Sälen oft die künstlichsten Mittel aufbieten muß, um diesen Nachhall zu zerstreuen. Die Schnitzwerke und durchbrochenen Arbeiten in Kirchen, die Tapeten und Draperien in Sälen sind oft mehr, als sie scheinen, mehr als Schmuck und Zierrathen; sie sind oft absichtlich angebracht, um die sich daran brechenden Schallwellen zu vernichten. Weiche, unelastische Körper oder rauhe Flächen können eben die Schallwellen gar nicht zurückwerfen, oder müssen doch die Wirkung der zurückgeworfenen Wellen durch ihre Zerstreuung und Auflösung schwächen.

Draußen in der freien Natur dagegen dringt von Fels und Wald ungehindert und ungeschwächt der Widerhall zu unserem Ohre. Schon die Alten kannten die Stimme des Echo's, und sie hatte etwas Geheimnißvolles, Dämonisches für sie, die noch nichts von dem wogenden Ocean wußten, der sie umgab, und dessen Wellen an den Felsgestaden sich brachen. Ist die Entfernung nur groß genug, so können selbst mehrere Silben nach einander in ihrer Rückkehr unser Ohr treffen. Eine Entfernung von 530 Fuß gewährt ja 10 Schallwellen Zeit genug, nach einander ihre Eindrücke auszuüben und ein zehnsilbiges Echo also unserem Ohre vernehmlich zu machen. Mehrere gegenüberstehende Wände können sogar, gerade wie die Wände eines engen Grabens die Wasserwellen von einem Ufer zum andern hin- und widerwerfen, auch die Zurückwerfung der Schallwellen wiederholen,

und mit Staunen wird dann das Ohr von dem Donner eines Böllerschusses erfüllt, der, wie beim Lorley-Felsen, 17mal zwischen den Felswänden des Rheins hin und wieder rollt.

Aber nicht von festen Wänden allein, von Felsen, Gebäuden, Wäldern, wird der Schall zurückgeworfen; auch überall da, wo eine plötzliche Veränderung in der Geschwindigkeit der Fortpflanzung des Schalles eintritt, ist eine Zurückwerfung damit verbunden. Das lange anhaltende Rollen des Donners rührt von einer Zurückwerfung durch die Wolken, jene nebelartigen Dunstanhäufungen in der Luft, her. Aber sogar beim Uebergange des Schalles in verschiedene Luftschichten, wärmere und feuchtere oder kältere und trockenere, also in dichtere oder dünnere Schichten, tritt eine Zurückwerfung und damit zugleich eine Schwächung des Schalles ein. Das ist es, was mit jene auffallende Schwächung des Schalles am Tage und zur heißen Sommerzeit erklärt. Die neuen Wellensysteme, die an den Grenzen der verschiedenen Luftschichten, beim Begegnen und Durchdringen verschiedener Widerstände sich erzeugen, müssen störend in die ursprünglichen Wellensysteme eingreifen.

Die Zurückwerfung der Schallwellen erfolgt natürlich genau nach denselben Gesetzen, wie die Zurückwerfung der Wasserwellen. Die unter schiefen Winkeln auffallenden Schallwellen kehren genau unter denselben Winkeln von der Wand zurück. Davon kann man sich in akustisch gebauten Sälen und Gewölben durch das Ohr überzeugen. Bekannt sind in dieser Hinsicht das sogenannte Ohr des Dionys und die Flüstergalerien des 17. und 18. Jahrhunderts, in denen durch die Zurückwerfung von gekrümmten Wänden die leisesten Flüstertöne des Sprechenden an einzelnen Punkten so vereinigt wurden, daß sie trotz der weiten Entfernung völlig vernehmlich blieben.

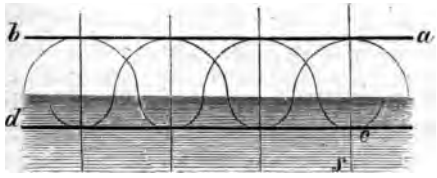
Die Brechung der Schallwellen.

Es ist ein Gesetz, das für alle Bewegungen in der Natur besteht, und das für die künstlichen Bewegungen, welche der Mensch durch seine Maschinen hervorruft, von besonderer Wichtigkeit ist, daß nämlich mit jeder Uebertragung einer Bewegung, ja selbst mit jeder plötzlichen Veränderung derselben in Geschwindigkeit oder Richtung ein Kraftverlust verbunden ist. Wenn der Unkundige daher in der Wirkung der Maschinen die ungeheuere Vervielfältigung der Kraft bewundert, so ist das eine Täuschung. Die Maschine kann nicht mehr leisten, als die

sie bewegende Kraft allein im Stande wäre zu leisten; ja, sie leistet weniger als diese, da ein Theil der Kraft durch die Uebertragungen und die Reibungswiderstände vernichtet wird, oder vielmehr sogar zur allmäligen Zerstörung der Maschine beiträgt. Dieses Gesetz wird auch auf die Bewegung der Schallwellen seine Anwendung finden müssen. Die Schallwelle geht, wie wir gesehen haben, auch in andere Mittel über, und bei jedem solchen Uebergange, sei es in mehr oder minder dichte, in mehr oder minder leitungsfähige Mittel, muß sie Verluste erleiden. Diese Verluste werden sich aber zunächst in der Erregung neuer rückschreitender Wellen, also in einer theilweisen Zurückwerfung bemerkbar machen, und natürlich muß die dadurch erlittene Schwächung des Schalles bedeutender sein beim Uebergange in dichtere Mittel, als umgekehrt. Der Schall muß also geschwächter aus der Luft in das Wasser, trotz der größeren Leitungsfähigkeit des letzteren, übergehen, als aus dem Wasser in die Luft. Je häufiger die Wechsel sind, je näher die verschiedenen Hindernisse einander folgen, desto stärker und schneller muß auch die Schwächung des Schalles zunehmen. Vermögen schon doppelte Thüren und Mauern durch die eingeschlossene dünnere Luftschicht den Schall bedeutend zu schwächen, so werden sie es im höchsten Grade, wenn diese Zwischenräume gar mit lockeren Hobel- oder Sägespänen erfüllt sind. Daher sind auch Betten, wollene Decken, Strohmatten im Stande, die Verbreitung des Schalles fast gänzlich aufzuheben.

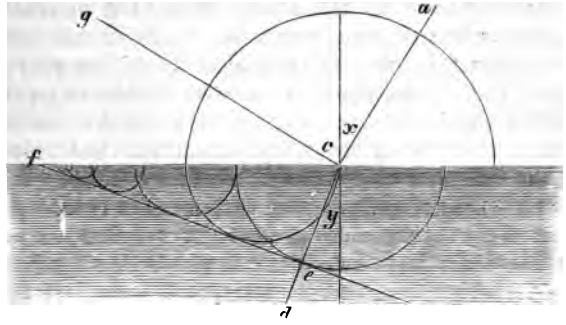
Die Schwächung der Wellenbewegung durch Erregung rückschreitender Wellen ist aber nur dann die einzige Folge ihres Ueberganges in verschieden dichte Mittel, wenn der Schallwellenzug auf die neue Schicht in senkrechter Richtung trifft, wenn also die geradlinig gedachte Welle ab selbst der Schicht parallel ist. Da in diesem Falle (Fig. 68) alle Oberflächentheile der Schicht gleichzeitig von der Welle getroffen werden, so sind auch die einzelnen neugebildeten Wellen, die nach rückwärts gebildeten sowohl, wie die in der neuen Schicht gebildeten, unter einander gleich groß und setzen sich daher durch ihre Interferenz nach vorwärts wie nach rückwärts zu einer einzigen in derselben Richtung

Fig. 68.



fortschreitenden Welle zusammen. Natürlich schreitet die neue Welle c d in dem dichteren Mittel mit einer geringeren Geschwindigkeit fort, als die rückschreitende Welle a b.

Fig. 69.



Wenn aber ein Schallwellenzug in schiefer Richtung a c (Fig. 69) auf die neue Schicht trifft, so daß also auch die Welle c g selbst nicht mehr in paralleler, sondern in schiefer Richtung gegen die Oberfläche der Schicht anrückt, so kommen die einzelnen gleichverdichteten oder vielmehr gleichschwingenden Theile dieser Welle nicht gleichzeitig, sondern erst nach einander an der Oberfläche der Schicht an und treffen sie also nicht mehr zu demselben Punkte, sondern in einer Reihe von Punkten neben einander. Während daher die vom ersten Theilchen der Welle g c angeregte neue Welle bereits bis e vorgeschritten ist, beginnt erst ein ferneres Theilchen f, seine neue Welle zu erzeugen. So entsteht eine Reihe von kleinen Wellen von abnehmender Größe, die sich durch ihre Interferenz zu einer neuen Welle e f zusammensetzen, die natürlich nicht mehr in der früheren Richtung a c, sondern in einer veränderten c d fortschreitet. Die schief einfallende Welle wird also nicht blos nach dem Gesetze der Zurückwerfung unter einem dem Einfallswinkel gleichen Winkel zurückgeworfen, sondern wird auch in dem fremden Mittel, das sie aufnimmt, von ihrer ursprünglichen Richtung abgelenkt, sie wird g e b r o c h e n.

Für unsere gewöhnliche Sinneswahrnehmung ist allerdings dieses Gesetz nicht gut nachzuweisen. Nichtsdestoweniger steht es fest. Ist es einmal erwiesen, daß der Schall auf einer Wellenbewegung beruht, so ist auch nicht mehr zu bezweifeln, daß er bei seinem Durchgange

durch verschieden dichte und verschieden leitende Mittel gebrochen, und zwar von seiner ursprünglichen Richtung der senkrechten mehr genähert oder mehr von dieser entfernt wird, je nachdem seine Fortpflanzung in dem zweiten Mittel langsamer oder schneller als in dem ersten geschieht. Da dieses Brechungsverhältniß allein von dem Verhältniß der Fortpflanzungsgeschwindigkeiten des Schalles in zwei verschiedenen Mitteln abhängt, oder vielmehr genau demselben gleich ist, so bleibt es natürlich unveränderlich dasselbe für dieselben Mittel. Wenn daher Schallwellen in ein Mittel übergehen, in welchem sie sich mit größerer Geschwindigkeit bewegen würden, z. B. aus der Luft in Wasser, so muß es offenbar eine Grenze geben, wo die Schallwellen so schief auffallen, daß sie gar nicht mehr durch das neue Mittel fortgeleitet werden können, sondern gänzlich zurückgeworfen werden. Aus dieser sogenannten totalen Reflexion erklärt es sich daher, daß flach auf das Wasser treffende Töne, Rufe vom Ufer her zum Beispiel, fast gar nicht unter dem Wasser gehört werden, während sie am andern Ufer überaus deutlich vernommen werden.

Die Beugung der Schallwellen.

Daß die Erscheinungen der Brechung der Schallwellen sich dem Urtheile unserer Sinne so gänzlich entziehen, daß wir den genaueren Nachweis der erwähnten Gesetze den feineren Beobachtungsmitteln der wissenschaftlichen Physik überlassen müssen, liegt daran, daß die Schallwellen noch anderen Störungen unterworfen sind, daß sie nicht blos zurückgeworfen und gebrochen, sondern auch gebeugt werden.

So lange Wasserwellen noch in ungestörtem Fortschreiten begriffen sind, so lange sie noch nicht an das Ufer geschlagen, ist es leicht, aus ihrer Krümmung und der Richtung ihres Fortschreitens auf den Punkt zurückzuschließen, von dem sie ausgegangen waren. Wenn aber die Wellen erst das Ufer getroffen haben, oder in Buchten und Seitencanäle eingedrungen sind, ist durch die Durchkreuzung mit den zurückgeworfenen und gebeugten Wellen eine solche Störung eingetreten, daß es in dem Gewirr der zahllosen, scheinbar um neue Mittelpunkte kreisenden Wellen nicht mehr möglich ist, den ursprünglichen Erregungspunkt und die ursprüngliche Richtung ihres Laufes zu errathen. Aehnlich verhält es sich auch mit den Schallwellen. Auch sie werden zurückgeworfen, auch sie werden gebeugt, wenn sie durch Oeffnungen hindurchgehen oder um Ecken herum sich verbreiten. Davon kann

man sich leicht durch das Ohr überzeugen. Wenn man vom Zimmer aus etwa eine Militairmusik auf der Straße hört, so vernimmt man ihre Töne auch noch, wenn sie längst um eine Ecke in eine andere Straße eingebogen ist. Daß der Schall uns in diesem Falle aber nicht durch die vielen dazwischen liegenden Mauern der Häuser zugeleitet wird, und daß wir hier wirklich nur gebeugte, nicht directe Schallwellen empfinden, können wir aus der schnellen Abnahme seiner Stärke schließen, an welcher wir das Einbiegen um eine Straßenecke sofort erkennen. Wenn nun eine Schallwelle ungestört und ungebeugt unser Ohr trifft, — was freilich nur bei sehr kleinen Entfernungen stattfinden kann —, so sind wir auch im Stande, genau über ihre Richtung und ihren Ursprung zu entscheiden. Wenn wir aber glauben, auch bei weither kommenden, mannigfach gehemmten Schallwellen über ihre Richtung durch das Gehör mit Gewißheit entscheiden zu können, so beruht das auf einer Täuschung. Nicht das Ohr, sondern unser Verstand bestimmt dann unser Urtheil. Wir schließen aus sämmtlichen uns bekannten Umständen auf den Ursprung des Schalles, und wir täuschen uns natürlich dabei oft, weil die Thatsachen, die unser Urtheil leiten könnten, uns gar nicht oder doch nur unvollständig bekannt sind. Kleine leichte Kräuselwellen, die ein fallendes Blatt etwa in einem engen Canale veranlaßt, pflanzen sich geradlinig auch über die sich erweiternde Wasserfläche fort, ohne seitwärts die geringste Bewegung zu bewirken. Die langen Wasserwogen aber, die ein fallender Stein in dem Canale erregt, verbreiten sich kreisförmig um die Mündung des Canals über die weite Wasserfläche. Solchen langen Wogen gleichen nun die Wellen des Schalles. Darum biegt der Schall durch jede Oeffnung und um jede Ecke, darum benutzt er jeden offenstehenden Weg, um zu unserm Ohre zu gelangen, er mag krumm oder gerade sein. Darum ist unser Ohr aber auch so ungeschickt zu genauen Ortsbestimmungen, da es eben ohne Unterschied von allen Seiten her auf geraden und krummen Wegen die Schallwellen empfängt.

Die Erfahrung bietet zahlreiche solche Täuschungen in Betreff der Richtung des Schalles. Kommt man in eine fremde Stadt und sieht von den Fenstern des Gasthauses gerade gegenüber einen altersgrauen Thurm, und vernimmt man dann in der Stille der Nacht deutlich und wie aus nächster Nähe herüberklingend das Läuten einer Glocke, so wird man darauf schwören wollen, daß das Geläute von jenem Thurme herkomme. Am andern Tage erfährt man dann zu seiner Verwunderung, daß jener Thurm nur eine Ruine und seit Jahren

seiner Glocken beraubt sei, und daß der Glockenklang von einer Kapelle herkam, die hinter Häusern versteckt, fern und wohl gar in entgegengesetzter Richtung liegt. Nur die Gewohnheit, Thurm und Glocke zu verknüpfen, verleitete zu dieser Täuschung. Aehnlicher Art sind die künstlichen Täuschungen, durch welche einst schlaue Priester eine leichtgläubige Menge bethörten, indem sie aus unsichtbarem Munde, aus Tempelmauern, aus dem Erdboden, aus Götterstatuen Orakelsprüche erschallen ließen. Unschuldiger sind die Täuschungen, mit denen bisweilen Taschenspieler auf öffentlichen Märkten die staunenden Zuschauer ergötzen, die Kunststücke des wahrsagenden Türken oder des unsichtbaren Mädchens. Es sind wirkliche Menschenstimmen, die man bei solchen Täuschungen vernimmt; aber durch künstliche Mittel werden sie so zum Ohre geleitet, daß man den sprechenden Mund an einem ganz andern Orte vermuthen muß, als wo er sich befindet. In engen Röhren können nämlich die Schallwellen keine Zerstreuung erleiden, wie im freien Raume; sie pflanzen sich also durch diese ununterbrochen fort und erscheinen am Ende dem Ohre so vernehmlich als am Anfange. Solche enge Schallröhren leitet man nun aus einem Nebenzimmer durch Wände und Fußböden hindurch in das Innere der sprechenden Figur bis zu ihrem Munde oder an eine durchbohrte dünne Stelle des Fußbodens oder der Wand, und jedes Wort, das im entfernten Zimmer in die Oeffnung dieser Röhre hineingesprochen wird, muß so gehört werden, als ob es aus dem Munde des Türken oder aus dem Fußboden komme. Bisweilen wendet man auch in weitläufigen Fabrikgebäuden und auf Schiffen solche Schallleitungen an, um zwischen dem Geschäftslocale des Dirigenten und den entlegenen Arbeitssälen, oder zwischen der Kajüte des Kapitäns und dem Mastkorbe eine bequeme Communication zu unterhalten. Etwas Aehnliches sind auch das Sprach- und Hörrohr, nur daß diese etwas kürzer sind und sich vom Munde oder Ohre aus kegelförmig erweitern, so daß die Schallwellen in ihnen durch wiederholte Zurückwerfung von den Wänden in eine einzige Richtung vereinigt werden.

Die Interferenz der Schallwellen.

Daß aus dem Meere der Töne, das uns rings umgiebt, aus dem wilden Getümmel durch einander fließender, einander durchkreuzender, tausendfach von den vielgestaltigen Ufern dieses Meeres zurückgeworfener, gebrochener und gebeugter Schallwellen, doch noch einzelne kräftige

Wellen an unser Ohr schlagen und als einzelne von uns vernommen werden, könnte fast mehr in Verwunderung setzen, als daß unser Ohr nicht über jene zarten Ablenkungen zu urtheilen vermag, welche die Richtung der Schallwellen bei ihrem Durchgange durch die verschiedenen Körper erleidet. Auch die Schallwellen müssen ja bei ihrer Begegnung ähnliche Interferenzen erzeugen, wie die Wasserwellen, Verstärkungen und Schwächungen des Schalles, den verdoppelten Wellenbergen und Thälern und der Ebnung der wogenden Wasserfläche entsprechend. Daß zwei Wasserwellen, wenn sie mit Berg gegen Thal auf einander stoßen, in einander zur ebenen Fläche verfließen, schien selbstverständlich; daß aber Schallwellen einander in der Begegnung aufheben, mit einander Stille erzeugen sollen, erscheint befremdend. Gleichwohl kann man sich davon überzeugen, wenn man eine tönende Stimmgabel dem Ohre nähert und sie dann um sich selbst dreht. Man wird den Ton nur wahrnehmen, so oft die Fläche einer Zinke dem Ohre zugewandt ist, während der Ton jedesmal verschwindet, wenn eine Kante dem Ohre gegenüber steht. Und doch ist die ganze Stimmgabel in steter, gleichmäßiger Schwingung. Eine andere ähnliche Beobachtung kann man am Clavier machen, wenn man zwei wenig von einander verschiedene Töne zugleich anschlägt, oder wenn man beim Stimmen des Claviers die Stimmgabel mit einer Saite zusammentönen läßt. Man vernimmt dann ein zeitweises An- und Abschwellen des Tones, gleichsam eine Reihe von Stößen, die sich in ihrer schnellen Aufeinanderfolge oft selbst zu einem dritten Tone, einem Nebentone, vereinigen. Diese Pausen und dieses wechselnde Wachsen und Schwinden der Töne erklären sich einfach aus der Interferenz. Auch zwei Schallwellen müssen in ihrer Begegnung einander stärken oder schwächen, je nachdem ihre Schwingungen gleich oder entgegengesetzt gerichtet sind. Jeder schwingende Stab muß aber nach der einen Richtung eine verdichtete, nach der andern entgegengesetzten eine verdünnte Luftwelle erregen. Bei den zwei gleich schwingenden Zinken der Stimmgabel muß es darum Stellen geben, wo diese Verdichtung und diese Verdünnung einander begegnen und darum aufheben, wo also gar kein Schall wahrgenommen wird. Bei den zugleich tönenden Saiten des Claviers können die beiden Wellensysteme in ihrer Durchkreuzung einander zwar nicht ganz aufheben, da die Saiten und darum auch ihre Schwingungen etwas verschieden von einander sind; aber sie müssen in den zusammentreffenden Verdichtungen und Verdünnungen einander wenigstens abwechselnd schwächen und verstärken und dadurch jene neue Empfindung für das Ohr, den

sogenannten Stoß erzeugen. Gerade diese Erzeugung der Stille aus der Vereinigung zweier Töne ist der sicherste Beweis für die Wellennatur des Schalles und für das Dasein eines wogenden, klingenden Meeres in Luft und Wasser, in Mauern und Metallen.

Drittes Kapitel.

Die Lichtwellen.

Die Theorie des Lichtes.

Anders ist der Eindruck der Landschaft, wenn durch die dunstreiche Atmosphäre das Licht der untergehenden Sonne mit röthlichem Schimmer Wald und Berge umsäumt, als wenn gleich leichten Schleiern die Nebel des Morgens in duftige Ferne entrücken, was sonst dem Auge mit scharfen Umrissen nahe liegt; anders, wenn die Landschaft sich im gleichmäßigen Lichte eines wolkenfreien Himmels vor uns ausbreitet, als wenn ihr hier das Halbdunkel eines Wolkenschattens, dort der volle Glanz der Sonne schroffe Contraste verleihen; anders im Lichte des Tages, als wenn die bleichen Strahlen des Mondes aus zerrissenem Gewölk auf die nächtliche Landschaft fließen, und die dunkleren und schärferen Schatten uns die Gegenstände massenhafter und bestimmter begrenzt erscheinen lassen. In all' diesem Wechsel sind die Dinge selbst, ihre Stoffe und Formen dieselben geblieben, die Berge und Wälder, der See und die Saaten. Was sich geändert hat, ist allein die Beleuchtung, was die Verwandlung in der Natur und zugleich in unsern Gefühlen bewirkt, ist allein das Licht.

Was ist nun dieses Licht? Gleicht es dem Schalle, der sich aus dem Zusammentreffen gewisser Schwingungen mit den Nerven unseres Gehörorgans erzeugt? Unstreitig gehört das Licht in demselben Sinne unserem Auge an, wie der Schall unserem Ohre. Der Blinde sieht keine Farben. Sein Auge sieht nicht den Strahl der Sonne, noch das milde Licht des Mondes, es sieht nicht den Schiller des bunten Schmetterlings, der über dem farbigen Wiesenteppich schwebt, nicht die Gluth der Abendröthe, noch die Schatten der Nacht, die sich über die stiller werdende Erde breiten. Und doch kennt auch der Blinde Licht und

Dunkel und Farben, freilich nur in den bunten Bildern seiner Phantasie. Auch der Blinde bildet sich tastend eine Vorstellung von Raum und Formen und umsäumt sie mit Licht und Farben, die er zwar nicht von außen, die er von innen entlehnt, und statt des Wechsels der äußern Welt in Beleuchtung und Farben gestaltet sich der Wechsel seiner eigenen Zustände zu einem Spiele farbiger, hellerer und dunklerer Bilder. So scheint sich in gewissem Sinne unser Sehen von dem des Blinden nur dadurch zu unterscheiden, daß uns die äußeren Gegenstände, Jenem die Bilder der Phantasie von Licht und Farben umflossen erscheinen.

In diesem Sinne kann man allerdings mit einigem Rechte sagen: das Licht ist nichts außer uns, es giebt kein Licht, keine Farbe ohne das Auge; es ist nur der Hauch des Lebens unseres eigenen Sinnes, den wir über die Außenwelt ausströmen, nur die gesetzliche innere Thätigkeit, welche uns den Genuß des Schönen draußen gewährt. Aber nur die Empfindung des Lichtes ist es, die uns angehört, wie der Schmerz, den wir empfinden, wenn wir unsere Hautnerven durch einen Nadelstich reizen. Die Ursache der Empfindung dagegen liegt außerhalb. Die Ursache, welche, indem sie fortwirkt bis auf unsere Sehnerven, die Empfindung des Lichtes in unserem Auge erregt, ist so wirklich als die stechende Nadel. Daraus, daß wir diese Ursache mit den andern Sinnen nicht so handgreiflich zu erfassen vermögen, wie die stechende Nadel oder selbst die Schwingung der tönenden Glocke, folgt noch keineswegs, daß Licht und Farbe der Dinge nur eine trügerische Phantasmagorie, ein Gaukelspiel unserer Sinne sind, dem in der äußeren Natur nichts Wesentliches entspricht. Wie jede Empfindung, so kann auch die des Lichtes nur durch die Berührung äußerer Ursachen mit unserem Sehnerv durch Vermittelung äußerer Bewegungen oder durch stoffliche Veränderungen von außen her bewirkt werden. Etwas Anderes freilich, als was Manche im alltäglichen Unverstande Licht nennen, mag es sein, was von dort her, vom rosig glimmenden Horizonte, zu uns herüber dringt und in unserem Auge die Wunderwelt des Lichtes und der Farben schafft.

Zwei Wege nur sind denkbar, auf denen unsere Sinne von entfernten Körpern Kunde erhalten können. Entweder sind es kleine körperliche Theile selbst, die zu den Nerven unserer Sinne dringen und sich ihnen durch unmittelbare Berührung verrathen, oder es sind Bewegungen, die, in der Ferne angeregt und durch die zwischenliegenden Räume fortgepflanzt, endlich zu den Nerven gelangen und durch deren

Erschüttterung das Dasein der fernen Bewegungsursachen bekunden. Ein Stückchen Moschus im verschlossenen Schranke wird von Tage zu Tage kleiner und verflüchtigt sich zuletzt vollkommen bis zum Verschwinden; aber die unendlich feinen Theilchen, die sich beständig ablösen und nach allen Richtungen verbreiten, werden von der Luft zu den Nerven unserer Nase getragen und erregen hier die Empfindung des Geruches. Ganz anders wird uns die Kunde von der Glocke des fernen Kirchthurms. Der Klöpfel, der sie trifft, erschüttert ihre Wände und versetzt sie in eine schwingende Bewegung, die sich zunächst nur den benachbarten Luftschichten, allmälig aber weiterhin der ganzen Atmosphäre und so zuletzt auch den Häuten und Flüssigkeiten unseres Ohres mittheilt. Kein Metalltheilchen dringt zu unserem Ohre, und kein Gran verliert die Glocke durch ihr Läuten von ihrem Gewichte, und wenn es hundert Jahre währte.

Nur auf einem dieser Wege kann uns auch vom Lichte Kunde werden. Entweder muß uns die leuchtende Sonne gleich dem riechenden Körper unaufhörlich von allen Punkten ihrer Oberfläche und mit blitzesschneller Geschwindigkeit stoffliche Theilchen zusenden und durch den Eintritt dieser Sonnenstäubchen in unser Auge die Empfindung des Sehens hervorbringen, oder es muß dem Schalle der Glocke ähnlich von der Sonne beständig eine Art schwingender oder wellenförmiger Bewegung ausgehen, welche, den ungeheueren Raum durchfliegend, sich endlich unserer Netzhaut mittheilt, wie die Schallwellen der Glocke zuletzt an das Trommelfell schlagen.

Auf jedem dieser beiden Wege glänzen die gefeiertesten Namen der Wissenschaft, auf jenem die eines Kepler, Newton, Laplace, auf diesem die eines Huyghens, Euler, Young, Fresnel und der ganzen Schaar unserer heutigen Physiker. Für jeden werden Thatsachen der Natur und des Denkens mit mehr oder minder Glück angeführt, gegen jeden drängen sich Bedenken auf, die selbst den Mitteln der heutigen Wissenschaft nicht immer ganz weichen.

Wenn das Licht nach der ersten Theorie, die man die Emanationstheorie genannt hat, auf einem Ausströmen materieller Sonnenstäubchen beruhen soll, so läßt sich einwenden, daß bei der außerordentlichen Geschwindigkeit seines Fluges, die ungemessen dem Millionenfachen der Geschwindigkeit einer Kanonenkugel gleichgesetzt werden kann, ein solches Sonnenstäubchen, auch wenn seine Größe als der millionste Theil einer Kanonkugel angenommen wird, gleich dieser Mauern umwerfen müßte. Dazu kommt noch ein anderes Bedenken. Wenn die

Sonne seit den Millionen Jahren ihres Bestehens nach allen Richtungen hin und mit solcher Geschwindigkeit ihre Stäubchen in den Raum hinaussandte, dann müßte ihre Masse sich doch gleich dem Moschuskörnchen bereits erschöpft oder vermindert haben. Freilich hindert uns nichts, diese Stäubchen noch viele Millionen mal kleiner und so unendlich klein anzunehmen, daß sie trotz ihrer Geschwindigkeit selbst weder in dem zarten Organe des Auges eine empfindliche mechanische Wirkung auszuüben, noch durch ihr Ausströmen die Sonnenmasse so beträchtlich zu vermindern vermöchten, daß die Beobachtung unserer zwei Jahrtausende diese Verminderung zu messen im Stande wäre. Nicht so leicht dürfte schon ein anderer Einwurf zu beseitigen sein. Bei der unendlichen Zahl von Lichtstrahlen, die selbst durch den kleinsten Spalt noch dringen, müßten nämlich offenbar die in einem so engen Raume einander durchkreuzenden materiellen Lichttheilchen mit solcher Heftigkeit auf einander stoßen, daß sie ihre Richtungen auf alle mögliche Art verändern und ordnungslos durch einander schwärmen müßten. Auch dagegen könnte man sich indeß noch mit der Eigenthümlichkeit unseres Auges helfen, jeden Lichteindruck eine gewisse Zeit, wenigstens ein Hundertstel einer Secunde lang festzuhalten. Dieser kleine Zeitraum ist aber groß genug, daß der Lichtstrahl darin Hunderte von Meilen zu durchlaufen vermag. Die einzelnen Stäubchen, welche den Lichtstrahl zusammensetzen, könnten also um Hunderte von Meilen getrennt hinter einander folgen und doch noch fortdauernde Lichteindrücke hervorbringen, wobei jede Gefahr des Zusammenstoßens und gegenseitigen Störens fern liegen würde. Aber das entscheidendste Bedenken gegen die Annahme ausströmender Lichttheilchen liegt darin, daß auch das Lichttheilchen, wenn es materiell sein soll, der allgemeinen Anziehung der Materie unterworfen sein muß. Kaum von dem leuchtenden Körper fortgeschleudert, müßte es also durch seine Anziehung wieder dahin zurückgezogen werden, und eine allmälige Verringerung der Geschwindigkeit würde die unausbleibliche Folge sein. Alle Beobachtungen lassen nun aber auf die vollkommenste Uebereinstimmung in der Geschwindigkeit des Lichtes schließen, mag es nun von den fernsten Sternen oder von unseren Kerzen, von der blendenden Sonne oder von schimmernden Leuchtkäfern ausgehen. Man könnte sich über diese Schwierigkeit nur noch mit der Annahme hinweghelfen, daß die leuchtenden Körper mit allen möglichen Geschwindigkeiten begabte Theilchen aussenden, daß aber nur eine ganz bestimmte Geschwindigkeit die Fähigkeit verleihe, als Licht zu erscheinen, und daß darum allerdings

eine Verminderung der Geschwindigkeit im Raume eintreten könne, daß aber diese verlangsamten Strahlen ebenso wenig als die ursprünglich zu schnellen zu unserer Wahrnehmung und Beobachtung gelangen. Das ist indeß eine so künstliche und dem ersten Gesetze aller Naturordnung, der Einfachheit, widersprechende Annahme, daß sie im Ernste nicht aufrecht erhalten werden kann.

Nach der anderen Theorie, die man die Vibrations- oder Undulationstheorie genannt hat, beruht das Licht auf einer Wellenbewegung, deren Träger der Aether ist, ein überall verbreitetes materielles Wesen von einer Feinheit, daß ihn weder die Wage noch ein chemisches Reagens nachweisen kann. Das Licht ist nach dieser Theorie eine Schwingung, wie die Schwingung des Schalls, die sich wie dieser nach allen Richtungen fortpflanzt. Wie wir den Klang einer Glocke auch hinter Mauern und Bergen vernehmen, so müssen wir also auch das Sonnenlicht hinter jedem undurchsichtigen Körper wahrnehmen. Es giebt in der That keinen völlig dunklen Schatten, sondern, wie die Schallwellen sich um die Widerstände herumbeugen, und wie die Wasserwellen aus einem engen Canale sich nach allen Seiten, selbst rückwärts über die Wasserfläche ausbreiten, so beugen sich auch zahlreiche Lichtstrahlen um die Grenzen der undurchsichtigen Körper und vermindern das Dunkel ihrer Schatten. So lange aber die Verbreitung der Lichtwelle ungehemmt ist, kann sie uns als Strahl in der geraden Richtung auf den leuchtenden Punkt hin bemerkbar werden. Allerdings muß auch jedes Theilchen der Lichtwelle, wie das der Wasser- oder Schallwelle, beständig Mittelpunkt neuer Erschütterungen oder Schwingungen werden; aber die neuen Wellen, die nach allen Richtungen davon ausgehen, kreuzen und zerstören sich so vollständig, daß nur die in der ursprünglichen Richtung fortschreitende Welle für unser Auge übrig bleibt. Nur an den Rändern undurchsichtiger Körper kann diese gegenseitige Ausgleichung der Seitenschwingungen nicht vollkommen stattfinden, und die neuen Lichtwellen erleuchten eben darum die Ränder der Schatten.

Jede Theorie ist von vornherein nur ein mehr oder minder glücklicher Versuch, eine gewisse Zahl bekannter Thatsachen zu verknüpfen; sie gleicht, wie Voltaire sich ausdrückt, einer Maus, die durch neun Löcher schlüpft, um im zehnten stecken zu bleiben. Erst wenn die Zahl der Löcher, durch welche die Maus schlüpfen kann, d. h. die Zahl der Prüfungen, denen die Theorie genügen muß, in's Unendliche vermehrt ist, erst dann erhebt sich die Theorie zur Bedeutung eines mathematischen

Gesetzes. Aus einem solchen Gesetze aber ergeben sich wieder gewisse nothwendige Folgerungen, deren Uebereinstimmung mit der Wirklichkeit der beste Beweis für die Richtigkeit der Theorie ist.

Die Theorie der Wellenbewegung des Lichtes führt zu einer Folgerung, die der Emanationstheorie auf das Entschiedenste widerspricht, und die gleichwohl von der Wissenschaft als eine Thatsache nachgewiesen ist, zum Beweise für die ausschließliche Richtigkeit der Undulationstheorie. Die Wellenbewegung besteht nämlich aus einem regelmäßigen Wechsel von entgegengesetzten Zuständen, Verdichtungen und Verdünnungen, Auf- und Nieder- oder Hin- und Herbewegungen. Solche Gegensätze müssen einander aufheben, vernichten können. Zwei Lichtstrahlen müssen nach der Wellentheorie unter gewissen Umständen einander eben so vernichten, auslöschen, verdunkeln, wie zwei zusammentreffende Wasserwellen unter ähnlichen Umständen die Ebene, oder zwei Schallwellen Stille erzeugen.

Wenn man einen Lichtstrahl durch eine enge Oeffnung auf ein weißes Blatt Papier fallen läßt, so erblickt man einen hell erleuchteten Punkt. Ein zweiter Lichtstrahl wird an einer andern Stelle des Papiers dasselbe bewirken. Läßt man mit Hülfe irgend einer Vorrichtung, etwa eines Spiegels, beide Lichtstrahlen auf einen Punkt zusammenfallen, so wird Niemand bezweifeln, daß nun eine doppelt so starke Beleuchtung dieses Punktes eintreten muß. Es giebt aber Umstände, unter denen die beiden Strahlen zwar noch einzeln für sich leuchtende Punkte geben, in ihrem Zusammentreffen aber nächtliches Dunkel erzeugen. Diese Verwandlung von Licht durch Licht in Dunkel muß in der That als das größte aller Wunder erscheinen, so lange das Licht als Stoff angesehen wird. Denn zwei Körper, also auch zwei Sonnenstäubchen können nur eine doppelte Wirkung hervorbringen, können aber unmöglich einander vernichten. Das Wunderbare schwindet aber sofort, wenn Wellen es sind, die durch den unendlichen Raum zu unserm Auge strömen; wenn Wellen es sind, die auch in jenem Punkte auf dem Papiere sich kreuzen. Die Fortpflanzung einer Welle durch eine Flüssigkeit, sei es das Wasser oder die Luft oder selbst ein elastischer fester Körper, sei es endlich auch der unbekannte Aether, den man als Träger der Lichtwellen annimmt, besteht, wie bereits gezeigt, darin, daß den Theilchen der Flüssigkeit eine schwingende Bewegung ertheilt wird, vermöge deren sie sich nach einander in zwei entgegengesetzte Richtungen verrücken. Es versteht sich von selbst, daß eine Wellenreihe die Wirkung einer andern vollständig aufheben muß, sobald an

jeder Stelle der schwingenden Flüssigkeit die schwingende Bewegung der einen Welle mit der entgegengesetzten der andern zusammenfällt. Dieselben Theilchen, die unter dem Einflusse einer einzigen Welle ungehindert fortschwingen würden, bleiben unter dem gleichzeitigen Einflusse der beiden gleichen Kräfte von entgegengesetzter Richtung in Ruhe. Die Bewegung wird durch die Bewegung aufgehoben. Die Bewegung des Aethers aber ist — das Licht, die Ruhe des Aethers — die Finsterniß. Das ist die Lösung des Räthsels. Was geschehen, um aus Licht Dunkel zu machen, wie aus der Interferenz der Wasserwellen die Ebene, aus der Interferenz der Schallwellen die Stille erzeugt wird, war nichts weiter, als daß dem einen Lichtstrahle ein etwas von dem des andern verschiedener Weg angewiesen wurde, und zwar so, daß der Unterschied ihrer Wegelängen genau der halben Wellenlänge gleich war. Diese Erscheinung ist übrigens keineswegs ein vereinzeltes Kunststück des Physikers. Sie muß sich vielmehr vielfach beständig um uns ereignen, wenn auch unbemerkt, da es wohl keinen Punkt im Raume giebt, der völlig gleiches Licht enthielte; keinen Punkt, wo nicht Tausende von Strahlen, durch mannigfache Störungen verändert, gebrochen und zurückgeworfen, in allen möglichen Richtungen einander kreuzen.

Durch diese und ähnliche Thatsachen hat die Undulationstheorie den Charakter des Gesetzes erhalten. Mit ihr aber hat sich ein neuer Ocean aufgethan von endloser Ausdehnung, der von den fernen Nebelwelten des Himmels seine Wellen zu uns sendet, nicht im Donner felserschütternder Brandung, sondern in jenen sanften Stößen, welche dem zartesten Organe unseres Leibes die Empfindung des Lichtes erregen. Auch in diesem Oceane müssen die Gesetze gelten, welche im Schrecken der sturmgepeitschten See und im Zauber der Töne sich enthüllten, und nichts wird die Lehre von der Wellenbewegung des Lichtes sicherer bestätigen, als der Nachweis dieser Gesetze.

Die Geschwindigkeit des Lichtes.

Schon bei oberflächlicher Betrachtung erkennt man in der Bewegung des Lichtes gewisse Aehnlichkeiten mit der Schallbewegung und selbst mit den Wasserwellen. Wo seinen Wellen kein Hinderniß entgegentritt, breiten sie sich kugel- und kreisförmig vom Erregungspunkte aus und pflanzen sich, an Stärke immer abnehmend, mit gleichförmiger Geschwindigkeit in das Unendliche fort. Wo sie auf feste

Hindernisse stoßen, werden sie nach denselben Gesetzen zurückgeworfen; sie spiegeln die Gegenstände, wie das Echo den Schall wiederholt. In endloser Zahl bewegen sich Wellensysteme in demselben Raume; sie kreuzen sich, ohne sich gegenseitig zu stören oder zu vernichten. Gleich der mäßig bewegten Wasserfläche, auf der wir deutlich die größeren und kleineren Wellenzüge unterscheiden können, von denen sie in verschiedenen Richtungen durchschnitten wird, gleich den zahllosen verschiedenen Tonwellensystemen, die ein Orchester gleichzeitig in Bewegung setzt, kreuzen sich Millionen von Lichtstrahlen in jedem erleuchteten Saale, und gleichwohl verwirren sie unser Auge nicht. Aber was der oberflächlichen Betrachtung nur zufällige Aehnlichkeit dünkt, wird durch die wissenschaftliche zur gesetzlich nothwendigen erhoben.

Die Wellenbewegung braucht, wie jede Bewegung überhaupt, zu ihrer Fortpflanzung Zeit. Jede Welle ist nur Zeuge längst vergangener Dinge. Der Stein ist längst in die Tiefe versunken, wenn die Welle, die er erregt, an das Ufer schlägt. Der Hammer ist längst gefallen, wenn wir seinen Schlag hören. So ist auch das Licht nur ein den Ereignissen nachhinkender Bote, und eine Welt im Himmelsraume kann ebenso gut, wie der Stein im Wasser, längst versunken sein, obgleich ihre Lichtwellen heute noch an unsere Netzhaut schlagen. Für unser Auge freilich scheint das Licht sich augenblicklich fortzupflanzen, es vermag keine Zeitunterschiede wahrzunehmen für verschiedene Wege, die das Licht durchläuft. Aber die Wissenschaft hat Mittel gefunden, solche Zeitunterschiede nachzuweisen und so die Geschwindigkeit, mit welcher sich das Licht fortpflanzt, zu messen.

Es bedarf dazu vor Allem einer Erscheinung, die sich regelmäßig und ohne ihren Ort wesentlich zu verändern, in bestimmten Zeiträumen wiederholt. Kann man sich dann während der Zwischenzeiten eine Strecke weit entfernen, weit genug natürlich, daß es für die Geschwindigkeit des Lichtes von Bedeutung wird, so kann man die wiederkehrende Erscheinung nicht mehr in den gleichen Perioden, sondern muß sie bei jeder Wiederkehr etwas verspätet beobachten. Diese Verspätung wird dann im Verhältniß zu der vergrößerten Entfernung die Geschwindigkeit des Lichtes messen. Eine solche Erscheinung giebt es nun in der That, und sie gewährte schon vor 190 Jahren das Mittel zur Messung dieser geschwindesten aller Bewegungen.

Der größte der Planeten unseres Sonnensystems, der Jupiter, wird bekanntlich von 4 Monden umkreist, von denen der nächste seinen Umlauf in 42 Stunden 28 Minuten vollendet. Bei jeder Umkreisung

tritt dieser Mond seiner großen Nähe wegen einmal in den Schatten seines gewaltigen Hauptplaneten; man sieht ihn verfinstert. Selbstverständlich sollten nun diese Finsternisse genau in Perioden eintreten, die durch den Lauf des Mondes bestimmt werden. Aber schon der dänische Astronom Olaus Römer beobachtete im Jahre 1675, daß der Eintritt der Verfinsterung sich regelmäßig um 14 bis 15 Secunden verzögerte, wenn die Erde sich in ihrem Laufe vom Jupiter in gerader Richtung entfernte, und umgekehrt um so viel verfrühte, wenn die Erde sich dem Jupiter näherte. Es lag sehr nahe, diese Verzögerung oder Verfrühung aus der Zeit zu erklären, welche das Licht des Jupiter zum Durchlaufen der Wegstrecke gebraucht hatte, um welche sich die Erde vom Jupiter entfernt oder ihm genähert hatte. Die Erde hatte sich aber in dieser Zeit von 12 Stunden 28 Minuten um 56,600 Meilen*) entfernt; das Licht hatte also in jeder Secunde 40,257 geogr. Meilen zurückgelegt. Diese Geschwindigkeit des Lichtes übertrifft also millionenmal die Geschwindigkeit des Schalls und selbst 101,000mal den Flug der Erde in ihrer Bahn. Gleichwohl erlangt diese Blitzesschnelle eine Bedeutung für die ungeheueren Räume des Himmels, und wenn auch die Zeit von 8 Minuten 13 Secunden, welche das Licht gebraucht, um von der Sonne zu uns die nahezu 20 Millionen Meilen weite Strecke zu durchlaufen, nur winzig erscheinen mag, so muß es doch mit Staunen erfüllen, wenn vom nächsten Fixsterne der Lichtstrahl $3^1/_2$ Jahre gebraucht, um zu uns zu gelangen, und mit dem Fluge des Lichts erlahmt endlich selbst der Flug der Phantasie, wenn Tausende und Millionen von Jahren vergehen müssen, ehe das Licht uns Kunde bringt von den Nebelwelten der Himmelsferne.

So ist das Licht also in der That, gleich der Welle am Ufer, gleich dem Schalle des Hammerschlages, ein hinkender Bote längst vergangener Dinge. Die flimmernden Sterne am Himmel sind nur die abgelösten Bilder einer vieltausendjährigen Vergangenheit, und die Welten, die sie abspiegeln, sind vielleicht längst andere geworden, längst zertrümmert, und nur die kurzen Jahrhunderte unserer Beobachtung erfuhren nichts davon. Aber es können auch, genau genommen, nicht einmal die Sterne an denselben Orten stehen, an denen wir sie

*) Es ist bei dieser Berechnung die neueste, aus correspondirenden Marsbeobachtungen ermittelte Sonnenparallaxe zu Grunde gelegt, welche die Entfernung der Erde von der Sonne zu 19,846,794 Meilen angiebt, während sie nach Enke's Berechnung bisher zu 20,682,329 geogr. Meilen angenommen wurde.

sehen. Denn wir bewegen uns ja, während die Lichtstrahlen ihre weite Reise machen, und wenn auch die 40 Millionen Meilen, welche die Erde alljährlich durchschweift, nicht viel für die ungeheueren Räume des Himmels und die ungeheuere Geschwindigkeit des Lichtes sein mögen, so müssen sie doch für die feinen Beobachtungsinstrumente des Astronomen wenigstens sichtbare Spuren am Himmel zurücklassen.

Wenn man auf einem Dampfschiffe einen Strom hinabfährt, so bemerkt man bald, daß derselbe Wind, der eben noch von der Seite her wehte und den Rauch des Schornsteins zum jenseitigen Ufer hinübertrieb, allmälig anfängt sich zu wenden und endlich fast von vorn entgegenbläst. Diese Richtungsänderung des Zuges erklärt sich aus der vereinten Bewegung des Schiffes und des Windes. Selbst der Flug der Kanonenkugel würde eine solche Ablenkung erfahren. Eine Kanonenkugel, welche durch die beiden Seiten eines schnellsegelnden Schiffes schlägt, wird nicht ganz genau in der Richtung des Schusses das Schiff zu verlassen scheinen. Denn auch während des kurzen Augenblickes, der zwischen der Zerschmetterung der einen und der andern Schiffswand verfließt, hat das Schiff sich etwas nach vorwärts bewegt, und die Abweichung der Kanonenkugel von der Richtung des Schusses, ihr Zurückbleiben, könnte sogar auf die Größe ihrer Geschwindigkeit schließen lassen. Aber auch das Licht muß, wenn es sich mit einer meßbaren Geschwindigkeit bewegt, eine solche Ablenkung zeigen, sobald es einen bewegten Körper trifft. Allerdings wird die gewöhnliche Breite eines Schiffes nicht ausreichen, um diese Abweichung zu messen; aber auch unsere Erde ist ein Schiff, das uns durch den Weltenocean trägt. Das Licht eines fernen Sternes ereilt uns auf dieser Fahrt, es durchfliegt das Fernrohr, mit welchem wir den Stern unverwandt auf der Reise verfolgen. So kurz auch die Zeit sein mag, welche der Lichtstrahl gebraucht, um das Fernrohr zu durchlaufen, eine Zeit ist es immer, und in dieser Zeit ist auch jedenfalls das Fernrohr von der dahin segelnden Erde bereits um eine, wenn auch noch so kleine Strecke weiter getragen. Der Lichtstrahl kommt also nicht mehr genau in derselben Richtung in unser Auge, in welcher er in das Fernrohr eintrat; und wir sehen den Stern darum nicht mehr genau an dem Punkte, in welchem er wirklich steht. Einzeln für sich ist diese Abweichung allerdings sehr klein, völlig unmeßbar für unsere feinsten Instrumente; aber sie wiederholt sich viele Millionen mal auf unserer Reise, und die Summe dieser Abweichungen ist meßbar, obgleich es die einzelnen nicht waren. Am Ziele der Erdbahn sieht der Astronom in der That den

Stern um eine gewisse Größe, wenn auch nur um Secunden oder Zehntelsecunden in der Richtung vorgerückt, in welcher die Erde das Fernrohr trug. Der Stern hat während der jährlichen Wanderung der Erde durch ihre Bahn einen vollen Kreis um seinen wahren Standort beschrieben, ein Miniaturabbild des Erdenlaufes selbst. Diese von Bradley im Jahre 1727 entdeckte Erscheinung, vermöge deren wir die Sterne niemals genau an den Orten erblicken, an welchen sie stehen, wird von den Astronomen die Aberration des Lichtes oder die Lichtabirrung genannt.

Die Geschwindigkeit des Lichtes ist viel zu groß, als daß sie sich für irdische Strecken bemerkbar machen könnte. Es sind immer nur Tausendtheile und Milliontheile einer Secunde, welche das Licht gebraucht, um selbst große irdische Strecken zu durchlaufen. Gleichwohl ist es der Wissenschaft gelungen, auch Uhren für so kleine Zeiträume zu ersinnen und so die Geschwindigkeit des Lichtes selbst auf kleinen irdischen Strecken zu messen. Die Kunst dieser Messung beruht auf einer Umwandlung der Zeit in eine scheinbare Raumdistanz. Das Mittel zu dieser Verwandlung aber ist eine meßbare Bewegung von außerordentlicher Geschwindigkeit. Es ist leicht begreiflich, daß man mit Hülfe zweckmäßig verbundener Zahnräder im Stande ist, Umdrehungen von beliebiger Geschwindigkeit hervorzubringen. Man hat Apparate gebaut, in denen ein Cylinder in jeder Secunde 1000 bis 1500 Umläufe um seine Axe vollendet. Ist nun der Umfang eines solchen Cylinders selbst wieder eingetheilt, beispielsweise in 360 Grade, so entspricht jeder Theilstrich des rotirenden Cylinders dem 360,000sten, resp. 540,000sten Theile einer Secunde. Nimmt man das Mikroskop zu Hülfe, so kann man noch kleinere Theile unterscheiden, die also recht gut Zehn- und Hundertmillionsteln einer Secunde entsprechen können. Ist daher ein Ereigniß von außerordentlich kurzer Zeitdauer zu messen, so genügt es, seinen Anfang und sein Ende sich selbst durch Marken, etwa durch die von elektrischen Funken zurückgelassenen Punkte, verzeichnen zu lassen. Der Abstand dieser Marken von einander wird dann den sichersten Schluß auf die verflossenen Zeittheilchen gestatten. Die Messung der Lichtgeschwindigkeit erfordert statt des rotirenden Cylinders einen rotirenden Spiegel. Erzeugt man nun an einer Stelle dieses rotirenden Spiegels einen Lichtblitz, etwa einen elektrischen Funken, und läßt diesen von einem etwa 10 Fuß davon entfernten Spiegel zurückwerfen und also nach einem Umwege von 20 Fuß genau auf denselben Punkt des rotirenden Spiegels zurückkehren, so werden die

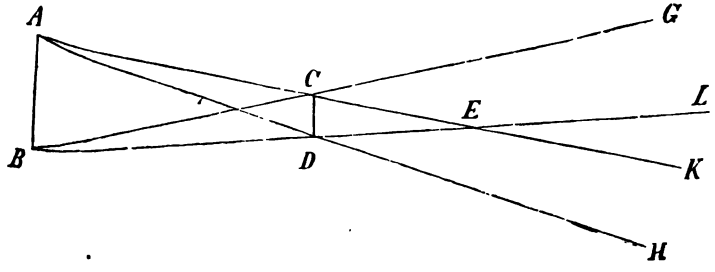
Bilder dieser beiden Funken in dem rotirenden Spiegel nicht mehr an derselben Stelle erscheinen, wenn in der Zeit, in welcher das Licht des einen Funken die 20 Fuß lange Strecke durchlief, der Spiegel nur irgend seine Lage verändern konnte. Durch ein Fernrohr ist man im Stande, den gegenseitigen Abstand dieser Bilder genau zu beobachten, den Winkel, unter welchem sie erscheinen, zu messen, die Drehung des Spiegels zu messen und daraus endlich die zwischen den beiden Erscheinungen verflossene Zeit zu berechnen. Das Resultat dieser Messung ist völlig übereinstimmend mit den Resultaten, welche man für die Geschwindigkeit des Lichtes der Sonne auf seinem Wege zu uns gefunden hat.

Die Intensität des Lichtes und die Photometrie.

Das Licht pflanzt sich, wie jede durch einen einfachen Stoß angeregte Bewegung, so lange es sich in demselben unveränderten Mittel bewegt, in gerader Linie fort, und man bezeichnet diesen geradlinigen Weg des Lichtes als Lichtstrahl. Da aber in einem leuchtenden Punkte nach jeder Richtung hin solche Erschütterungen stattfinden, so gehen auch nach allen Richtungen Lichtstrahlen von ihm aus. Tritt ihm ein undurchsichtiger Körper auf dem Wege zu unserem Auge entgegen, so verhindert er ihn, zu uns zu gelangen, und entzieht uns den Anblick des leuchtenden Punktes. Wir schließen daher, daß zwei Gegenstände mit unserem Auge sich in einer geraden Linie befinden, wenn einer den andern verdeckt.

Hinter jedem undurchsichtigen Körper, der den Lichtstrahlen eines

Fig. 70.

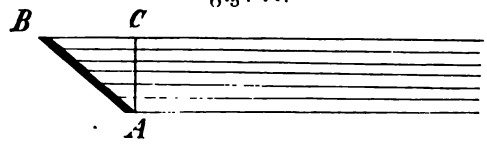


leuchtenden Körpers in den Weg tritt, befindet sich ein Raum, von welchem das Licht ferngehalten wird, ein Schatten. Aber nur ein

Theil dieses Raumes, der Kernschatten, empfängt gar kein directes Licht von dem leuchtenden Körper, während von dem andern, dem Halbschatten, nur ein Theil der Lichtstrahlen ferngehalten wird. So gelangt von der Sonne AB (Fig. 70) nur in denjenigen Raum hinter dem Monde CD kein directes Sonnenlicht, welcher von den Linien CE und DE begrenzt wird, während der übrige zwischen CG und DH eingeschlossene Raum noch theilweise beleuchtet wird. Nur wenn wir uns in dem Kernschatten CDE befinden, werden wir also die Sonne völlig verfinstert erblicken, während wir in dem Halbschatten zwischen CG und CK oder zwischen DH und DL noch einen Theil der Sonne erblicken werden.

Trifft das Licht eines leuchtenden Körpers ungehindert auf die Oberfläche eines dunklen Körpers, so wird diese beleuchtet. Die Stärke dieser Beleuchtung hängt nicht allein von der Stärke des Lichtes selbst, sondern auch von der Entfernung der beleuchtenden Fläche von dem Lichtquell und von dem Winkel ab, unter welchem die Lichtstrahlen die Fläche treffen. Da die Fortpflanzung des Lichtes auf einer sich um den leuchtenden Punkt kugelförmig verbreitenden Wellenbewegung beruht, so muß mit der Entfernung sich die Wirkung dieser Wellenbewegung abschwächen. Je weiter die Kugelwelle fortschreitet, über einen desto größeren Raum verbreitet sie sich ja, von einem desto kleineren Theile der Welle wird also die gleiche Fläche getroffen. In der doppelten Entfernung verbreitet sich dieselbe Lichtmenge über die 4fache Fläche, in 3facher Entfernung über die 9fache. In doppelter Entfernung empfängt also dieselbe Fläche nur den 4ten Theil des Lichtes, in der 3fachen nur den 9ten Theil. Die Stärke der Beleuchtung nimmt also im quadratischen Verhältnisse der Entfernung ab. Schief auftreffende Strahlen können ebenso wenig eine Fläche in gleichem Maße beleuchten, wie senkrecht auffallende. Die gegen die Lichtstrahlen geneigte Fläche AB (Fig 71) empfängt ja nur dieselbe Lichtmenge, wie die kleinere senkrechte Fläche AC. Schiefe Strahlen erleuchten also um so schwächer, je kleiner der Winkel ist, welchen sie mit der Fläche bilden.

Fig. 71.



Den wichtigsten Antheil an der Beleuchtung hat freilich die Stärke

oder Intensität des Lichtes. Für diese Intensität besitzt das Auge nur in geringem Grade ein Urtheil. Um so empfindlicher ist es für schwächeres Licht, namentlich für die größere oder geringere Dunkelheit von Schatten. Die Erfahrung hat gelehrt, daß wir noch recht gut einen Unterschied in der Lichtstärke oder einen Schatten wahrnehmen können, wenn die Erleuchtung einer Stelle nur um $^1/_{60}$ von der einer benachbarten verschieden ist. Auf diese Eigenschaft des Auges gründen sich daher auch die meisten Einrichtungen, um die Lichtstärke zu messen, die sogenannten Photometer. Wenn man nämlich einen dünnen Stab in einiger Entfernung von einer Lampe aufstellt, so wirft er einen dunklen Schatten, der sich sehr scharf von einem weißen Blatte Papier abhebt. Man wird aber vier solcher Lampen in der doppelten Entfernung aufstellen müssen, wenn sie einen gleich dunklen Schatten erzeugen sollen. Die Intensität zweier Lichtquellen wird also durch das Quadrat der Entfernungen gemessen, in welchen sie gleich dunkle Schatten erzeugen. Mit Hülfe solcher zum Theil sehr sinnreich construirter Photometer hat man das Licht der Sonne mit dem des Mondes, verschiedener Sterne und mit unseren irdischen Lichtquellen verglichen und gefunden, daß das Sonnenlicht 20,000 Millionen mal und das Mondlicht mindestens 30,000mal stärker ist, als das Licht des funkelnden Sirius, eines der hellsten aller Fixsterne. Man hat ferner gefunden, daß das Sonnenlicht nach Einigen 300,000-, nach Andern 800,000mal das Mondlicht an Intensität übertrifft. Man hat endlich gefunden, daß etwa 5500 Kerzen dazu gehören würden, um in Entfernung von 1 Fuß ein Licht zu geben, das dem Glanze der Sonne gleichkäme.

Die Zurückwerfung des Lichtes.

Die nicht selbst leuchtenden Körper werden uns erst sichtbar durch das Licht, welches von ihren Oberflächen zurückgeworfen wird. Wir sehen keinen Körper, von dem nicht Lichtwellen in unser Auge gelangen. Die Natur um uns ist gleichsam nur das Ufer, an welches die Lichtwellen schlagen, und nur wenn diese Wellen von den Ufern zurückkehren, werden unsere Augen, indem sie sie auffangen, ihrer Ursachen, der Dinge selbst, gewahr. Gerade wie dem Schiffer auf der See die schäumende Brandung die Nähe der Gestade verkündet, so wird unserem Auge die Welt erst sichtbar durch die Wellen, die von ihren Grenzen zurückkehren.

Die Zurückwerfung der Lichtwellen muß natürlich nach denselben Gesetzen erfolgen, wie die des von der Wand zurückprallenden Balles oder der am Ufer sich brechenden Wasserwelle. Jede Lichtwelle muß unter demselben Winkel von der Fläche zurückgehen, unter welcher sie auffiel. Die meisten Körper besitzen unebene, rauhe Oberflächen, und von diesen Unebenheiten müssen darum die zahllosen, von allen Seiten her anprallenden Lichtwellen auch nach allen möglichen Richtungen zurückgeworfen werden. Dieses zerstreute Licht ist es dann eben, welches uns die Körper sichtbar macht, da jeder Punkt ihrer Oberfläche durch das von ihm ausgesandte Licht vom Auge erkannt wird. Wenn es aber eine völlig ebene und glatte Fläche ist, welche die von einem leuchtenden Punkte herkommenden Wellen auffängt, so muß nach demselben Gesetze der Zurückwerfung eine Wiedervereinigung der zurückgeworfenen Lichtwellen in unserem Auge stattfinden. Wir sehen daher dann nicht mehr die erleuchtete Fläche, sondern die Lichtquelle selbst, nur in einer andern Richtung. Eine solche ebene Fläche, welche uns das Abbild eines leuchtenden Körpers zeigt, ist ein Spiegel.

Die Spiegelung des Lichtes beruht ganz auf denselben Vorgängen, wie die Zurückwerfung der Wellenkreise des Wassers von der Uferwand, die es bewirkt, daß die rückschreitende Welle nur den Ausgangspunkt geändert zu haben und von einem gerade so weit jenseits der Wand liegenden Punkte herzukommen scheint, als der ursprüngliche Erregungspunkt der Welle diesseits der Wand liegt. Der Grund dieser Erscheinung ist, wie gezeigt wurde, eine Richtungsveränderung in der Mittheilung der schwingenden Bewegung von Theilchen zu Theilchen. Diese Mittheilung erfolgt nämlich jetzt genau unter demselben Winkel von der Wand rückwärts, unter welchem sie gegen die Wand hin vorschritt. Wenn nun beim Wasser die Zurückwerfung der Theilchen uns nur unter dem Gesammtbilde eines Wellenkreises, d. h. einer trügerischen Form, unter welcher sich die wahre Bewegung der Theilchen versteckt, wahrnehmbar wird, und wenn wir die wahre Richtung des Fortschreitens der Schwingungen dort nur in den Radien der rückwärts gewandten Kreise ahnen müssen, so ist es gerade diese Richtung der fortschreitenden Bewegungsmittheilung, welche uns beim Lichte als Lichtstrahl erscheint. Hier offenbart sich darum das allgemeine Gesetz der Zurückwerfung viel deutlicher, als beim Wasser. Die Strahlen kehren hier wirklich sichtbar unter den gleichen Winkeln von der spiegelnden Fläche zurück, unter welchen sie dieselbe trafen; sie keh-

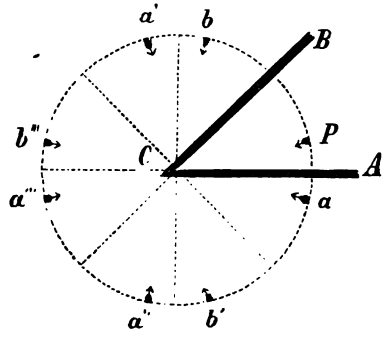
ren wirklich sichtbar aus einem ebenso weit hinter dem Spiegel gelegenen Punkte zurück, als der leuchtende Punkt vor demselben liegt, und erzeugen so in ihrer vereinten Wirkung hinter dem Spiegel ein sichtbares Bild des Gegenstandes, der seine Lichtstrahlen auf den Spiegel warf.

Aus dieser Entstehungsweise der Spiegelbilder folgt, daß sie genau die Größe und Lage der Gegenstände haben müssen, welche sie spiegeln, und daß wir sie genau so erblicken müssen, als ob die Gegenstände hinter dem Spiegel in gleicher Entfernung ständen. Die Klarheit und Deutlichkeit der Bilder hängt natürlich von der Regelmäßigkeit der Lichtreflexion ab. Minder ebene Spiegel, von denen die Zurückwerfung nach verschiedenen Richtungen geschieht, gewähren auch minder deutliche Bilder. Die besten Spiegel sind die Metallspiegel, die kupfernen, silbernen oder zinnernen der Alten, oder unsere heutigen Platinspiegel, oder die aus einer Composition von Kupfer und Zinn oder von Kupfer, Zinn und Zink oder Nickel gearbeiteten Metallspiegel, wie sie bei astronomischen Instrumenten in Gebrauch sind. Bei unseren mit Zinnamalgam belegten Glasspiegeln spiegelt außer der glänzenden hinteren Metallfläche auch das Glas, und es entstehen daher stets zwei Bilder, die in ihrer Deutlichkeit einander beeinträchtigen. Für diese Glasspiegel ist vollends ungeeignet ein grünes oder dunkles Glas, da bei der Schwächung, welche das von der Metallfläche zurückgeworfene Licht, indem es die dunkle Glasmasse durchdringt, erleidet, das von der vordern Glasfläche gespiegelte Bild um so merklicher und störender hervortritt.

Eine ganze Reihe von Gestalten ist es, welche der Spiegel angenommen hat, um für Spiel und Ernst, für Kunst und Wissenschaft Bilder zu zaubern. Bekannt ist die Spiegelkammer, die einen einzelnen Gegenstand, etwa einen Schwan, in ihrer Mitte ringsum hundertfach vervielfältigt zeigt. Sie besteht aus parallelen Spiegeln, deren jeder das Spiegelbild des andern wiederspiegelt, und so in unendlicher Wiederholung, so weit die mit jeder Zurückwerfung abnehmende Helligkeit nicht endlich der Zahl der sichtbaren Bilder eine Grenze setzt. Eine andere artige Spielerei ist das Kaleidoskop, das durch die Pracht, Symmetrie und Mannigfaltigkeit seiner Bilder, die oft den schönsten Mustern von Tapeten und Kleiderstoffen gleichen, wohl Manchem eine Unterhaltung gewährt. Es ist eine einfache Pappröhre, die zwei unter einem Winkel gegen einander geneigte Spiegel umschließt. Diese bei-

den Spiegel A C und B C (Fig. 72) erzeugen aus wenigen unansehnlichen Moos- und Glasstückchen oder streifigen Zeichnungen, die sich innerhalb ihres Winkels z. B. bei P befinden, durch Wiederholung ihrer Bilder die prächtigsten sternförmigen Gruppirungen. Die Bilder werden hier nicht in's Endlose wiederholt, sondern nur so oft, als der Winkel, den die Spiegel mit einander bilden, in 360° enthalten ist, also 6mal bei einem Winkel von 60°, 8mal bei einem Winkel von 45° (Fig. 72). Daher rührt eben die regelmäßige symmetrische Gruppirung der Bilder.

Fig. 72.

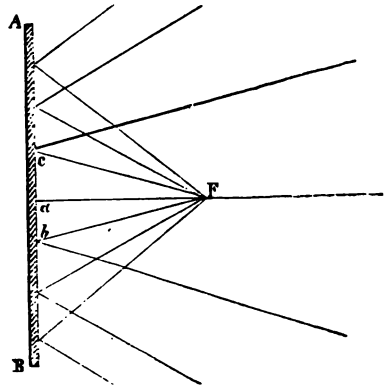


Einen sehr wichtigen Gebrauch von der Spiegelung macht der Mineralog in seinem Goniometer, wenn er damit die Winkel mißt, welche die Flächen seiner kleinen Krystalle mit einander bilden. Die beiden Spiegelbilder nämlich, welche nach einander von den an einander stoßenden Flächen eines Krystalls zurückgeworfen werden, wenn man ihn um seine Axe dreht, lassen an einer mit dem Instrumente verbundenen Theilung den Neigungswinkel der beiden Krystallflächen ablesen. Ebenso bedient sich auch der Seemann des Spiegels, wenn er mit Hülfe seines Sextanten den Winkel mißt, welchen zwei ferne Gegenstände am Horizonte, etwa zwei Sterne, mit einander bilden, und von der Genauigkeit dieser Messung hängt seine Kenntniß von der Lage des Schiffes, hängt oft das Geschick des Schiffes ab. Ein solcher Sextant ist ein metallener Kreisausschnitt, um dessen Mittelpunkt sich ein einfaches Lineal, eine sogenannte Alhidade, und auf diesem ein senkrechter Spiegel dreht. Von diesem Spiegel wird das Licht eines fernen Punktes auf einen andern, dem ersten parallelen, aber nur zur Hälfte mit Folie belegten Spiegel zurückgeworfen, der auf dem Sextanten einem Fernrohre gegenüber befestigt ist, und in dessen unbelegtem Theile der zweite ferne Punkt durch das Fernrohr gesucht wird. Die Stellung der Alhidade auf dem Sextanten in dem Augenblicke, wo beide Punkte gleichzeitig in diesem zweiten Spiegel erscheinen, mißt

den Winkel, den beide Spiegel mit einander bilden, und damit zugleich den doppelten Winkel der fernen Gegenstände selbst.

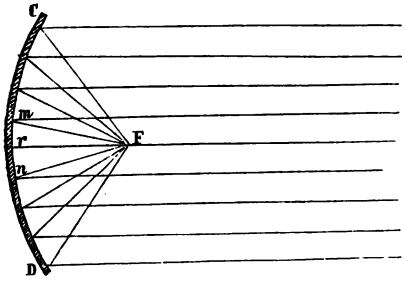
Eine andere sehr werthvolle Anwendnng hat man endlich vom Spiegel in dem Heliostaten gemacht, mit dessen Hülfe der Forscher im Stande ist, die Sonne in ihrem Laufe zu begleiten, sie gleichsam für die Beobachtung zum Stillstande zu bringen. Ein sinnreiches Uhrwerk nöthigt nämlich den Spiegel, der Sonne zu folgen, so daß dieser ihr Bild zu jeder Zeit, wie sie auch am Himmel fortschreiten mag, in derselben Richtung unverrückt auf eine Stelle bannt.

Fig. 73.



Besonders wichtige Anwendungen hat man von den gekrümmten Spiegeln gemacht wegen der eigenthümlichen Wirkungen, welche sie auf die Zurückwerfung des Lichtes haben. Ein ebener Spiegel muß nach dem Gesetze der Zurückwerfung parallele Strahlen auch parallel zurückwerfen. Treffen aber einen solchen ebenen Spiegel A B (Fig. 73) die Strahlen eines nahen Lichtes F in Form eines Lichtbündels, so müssen diese unter verschiedenen von der Mitte aus immer kleiner werdenden Winkeln auffallen und daher auch unter immer kleiner werdenden Winkeln, also immer weiter aus einander gehend, zurückgeworfen werden. Man kann nun gewiß mehrere Spiegel so mit einander verbinden, daß die Winkel, unter welchen sie die sie treffenden Lichtstrahlen zurückwerfen, nur in einem geringeren Maße sich allmälig verkleinern, und es muß endlich eine Stellung der Spiegel ausfindig gemacht werden können, in welcher die gesammten Strahlen eines Lichtes nicht mehr zerstreut, sondern in einer und derselben Richtung, also unter einander parallel zurückgeworfen werden. Denkt man sich alle diese kleinen Spiegel in einen einzigen vereinigt, so erhält man einen gekrümmten Spiegel, und ein solcher gekrümmter Hohlspiegel C D (Fig. 74) muß dann die Eigenschaft haben, alle von einem gewissen Punkte F herkommenden

Fig. 74.



Lichtstrahlen unter sich parallel, gleichsam als einen Lichtcylinder zurück zu senden.

Solche Hohlspiegel sind es nun, die ihre glänzendste Anwendung auf den Leuchtthürmen gefunden haben.

In finsterer Sturmnacht giebt es nichts Furchtbareres für den Seefahrer, als die Nähe der Küste, und selbst der Anblick des Hafens, dem sein Herz vielleicht seit Monden mit Sehnsucht entgegenschlug, vermag ihn mit Entsetzen zu erfüllen. Denn nicht das hohe Meer ist die Stätte der Gefahren, sie beginnt meist erst am Eingange in den Hafen. Aber ehe noch der Donner der Brandung dem Seemanne die gefürchtete Küste verkündet, zeigt sich ihm mitten durch Sturm und Nacht ein seltsames Licht, blendend, fest und unwandelbar, gleich einem Sterne. Es ist das Licht des Leuchtthurms am Lande, das durch seine besondere Eigenthümlichkeit sogar dem durch die Ungunst des Himmels vielleicht schon seit Tagen jedes Mittels zur sichern Lenkung seines Schiffes beraubten Schiffer auf's Genaueste den Punkt der Küste anzeigt, in dessen Nähe er sich befindet. Der Schiffer ist jetzt gerettet; er vermag nun, wenn auch durch Ausführung schwieriger Manoeuvres, Mittel zu finden, um sich bis zum Tagesanbruche vom Ufer fern zu halten.

Im Alterthume war es ein helles Licht, etwa ein großes Feuer auf hohem Thurme, das den Seefahrern die nahe Gefahr verkündete. Die Leuchtthürme der Alten überragten weit die gleichen Bauwerke unserer Zeit. Aber auch das mächtigste Feuer auf ihren Zinnen vermochte mit seinen Strahlen die dicken Dunstschichten, die sich über dem Meere lagerten, nicht auf weite Strecken zu durchdringen. Das helle Licht verbreitete sich wohl nach allen Seiten und zerstreute sich in den Himmelsraum; aber die wenigen Strahlen, die dem Schiffer auf dem Meere zugute kommen konnten, wurden geschwächt, ehe sie ihn erreichten. Jetzt wendet man wohl hellere Lichter an, Argand'sche Lampen, hin- und wieder selbst das Drummond'sche Kalklicht und das elektrische Licht; aber nicht die größere Helligkeit dieses Lichtes ist der Grund, daß es jetzt in viel weitere Fernen reicht, sondern daß der

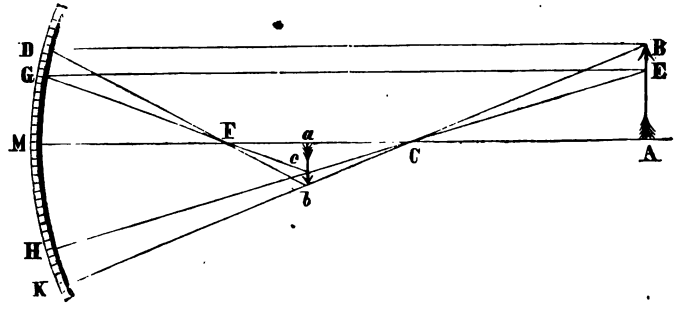
ganze, volle Glanz des Lichtes unzerstreut und unverloren in das Auge des Seemanns gesendet wird. Ein Hohlspiegel ist es nämlich, welcher das Licht der Lampe auffängt und alle seine Strahlen, auch die sonst nach dem Boden zu und gegen den Himmel oder landeinwärts verloren gegangen wären, vereinigt dem Meereshorizonte zusendet. Ein blendend heller Lichtcylinder fällt auf das Meer, freilich bis in die weiteste Entfernung nur von der Breite des Spiegels, da eben jede Zerstreuung dieser Strahlen absichtlich durch den Hohlspiegel verhindert worden ist. Damit würde nun allerdings in dem allergrößten Theile des Meereshorizonts völlige Dunkelheit herrschen, und der Pilot sich vergeblich nach einem Signale umsehen. Deshalb wird der Spiegel des Leuchtthurmes durch ein Uhrwerk in eine beständige, gleichförmige Umdrehung versetzt, so daß er seinen Lichtcylinder der Reihe nach gegen alle Punkte des Horizontes hinwendet, und der Schiffer, wo er auch sein mag, für einen Augenblick seinen Glanz wahrnehmen und dann wieder verschwinden sehen muß. Aus dieser Umdrehung des Spiegels, diesem regelmäßig wechselnden Erscheinen und Verschwinden des Lichtes erwächst für den Seefahrer ein neuer Vortheil. Wie viele Leuchtthürme auch auf einer weit ausgedehnten Küstenstrecke errichtet sein mögen, aus der Dauer der Zwischenzeiten zwischen dem Verschwinden und Wiederkehren des Lichtes, in Verbindung mit einer Färbung des Lichtes durch verschiedenfarbige Gläser, ist er im Stande, genau zu beurtheilen, welcher Leuchtthurm und welcher Theil der Küste ihm in Sicht ist. Allen jenen verhängnißvollen Täuschungen, die, durch einen auf- oder untergehenden Stern oder Planeten, durch zufällige von Fischern oder Holzhauern am Lande angezündete Feuer veranlaßt, oft die bejammernswerthesten Schiffbrüche herbeigeführt haben, ist durch diese sinnreiche Einrichtung ein- für allemal ein Ende gemacht.

Von allen gekrümmten Spiegeln sind es die sphärischen, d. h. solche, welche ein Stück einer Kugeloberfläche bilden, die am meisten Anwendung finden. Auch für sie muß es natürlich einen Punkt geben, der die Eigenschaft besitzt, daß alle Strahlen, die von ihm ausgehen, von dem Spiegel unter sich parallel zurückgeworfen werden. Dieser Punkt, den man den Brennpunkt nennt, liegt stets in der Axe des Spiegels, d. h. in der Linie, welche den Krümmungsmittelpunkt mit dem Mittelpunkte des Spiegels selbst verbindet, und zwar ziemlich genau in der Mitte zwischen dem Spiegel und dem Krümmungsmittelpunkte. Selbstverständlich wird daraus aber auch eine zweite Eigenschaft des Hohlspiegels folgen, daß alle den Spiegel unter sich und

mit der Axe parallel treffenden Strahlen so zurückgeworfen werden, daß sie sich in diesem Brennpunkte vereinigen. Da die von der Sonne kommenden Strahlen, der weiten Entfernung wegen, als parallel betrachtet werden können, so hat man darin ein Mittel, die Lage des Brennpunktes und die Entfernung desselben von dem Spiegel oder die Brennweite zu bestimmen.

Wenn die Lichtstrahlen nicht von einem leuchtenden Punkte, sondern von einem Gegenstande ausgehen, so müssen sie in dem Hohlspiegel so gut wie in dem ebenen Spiegel ein Bild des Gegenstandes erzeugen. Der in der Axe liegende Punkt des Gegenstandes muß natürlich auch sein Bild wieder in der Axe finden. Von jedem anderen Punkte des Gegenstandes werden aber einmal Strahlen ausgehen, die durch den Krümmungsmittelpunkt des Spiegels gehen (B C K und E C H, Fig. 75) und daher in sich selbst zurück geworfen werden. Es wird

Fig. 75.



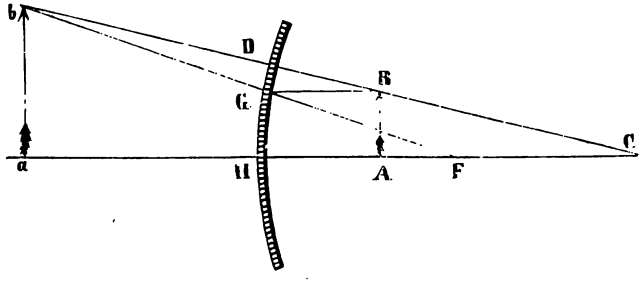
dann aber auch andere Strahlen geben, die mit der Axe parallel laufen (B D und E G) und von dem Spiegel in der Richtung des Brennpunktes F zurückgeworfen werden. Da, wo diese Strahlen den ersteren begegnen (in b und e), müssen also die Bilder dieser Punkte entstehen, da in b überhaupt alle von B kommenden Strahlen, in e alle von E kommenden vereinigt werden. In a b sieht man also das Bild des leuchtenden Gegenstandes A B. Da die Lichtstrahlen, von je höheren Punkten sie kommen, um so mehr nach unten zurückgeworfen werden, und umgekehrt, so muß dieses Bild ein verkehrtes sein, und zwar ein verkleinertes oder vergrößertes, je nachdem der Gegenstand mehr oder

weniger weit entfernt vom Brennpunkte sich befindet. Von einem jenseits des Krümmungsmittelpunktes befindlichen Gegenstande entsteht ein verkleinertes und verkehrtes Bild zwischen dem Mittelpunkte und dem Brennpunkte, und es rückt dem letzteren um so näher, je weiter sich der Gegenstand entfernt. Von einem zwischen Mittelpunkt und Brennpunkt befindlichen Gegenstande entsteht ein verkehrtes, aber vergrößertes Bild jenseits des Mittelpunktes.

Alle diese Bilder entstehen vor dem Spiegel, also in der Luft. Da wir aber gewohnt sind, bei ebenen Spiegeln die Bilder stets hinter dem Spiegel zu sehen, und da wir überhaupt nur Flächen als Ort für Bilder kennen und immer die ruhende Fläche hinter den luftigen Bildern suchen, so lassen wir uns auch hier über den Ort des Bildes täuschen und versetzen es in oder hinter den Spiegel. Daß aber das Bild wirklich in der Luft schwebt, davon wird der Beweis durch die Möglichkeit geliefert, es an seinem Orte auffangen und festhalten zu können. Ein Blättchen durchsichtigen Papieres, das wir der wirklichen Geburtsstätte des Bildes nähern, zeigt es uns genau so, wie wir es hinter dem Spiegel zu sehen meinten. Ja ein großer Hohlspiegel vermag sogar wirklich in der Luft schwebende Bilder sichtbar zu machen, und die Phantasmagorien und Geistererscheinungen der Taschenspieler sind meist nichts Anderes, als solche Luftbilder.

Es giebt einen Fall, wo das Bild nicht mehr vor, sondern hinter dem Spiegel sich bildet, weil die von dem Gegenstande ausgehenden Lichtstrahlen sich so zerstreuen, daß sie auf ihrer Rückkehr gar nicht mehr zu einer Vereinigung vor dem Spiegel gelangen können. Dies geschieht dann, wenn der zu spiegelnde Gegenstand sich dem Spiegel sehr nahe und zwar noch zwischen ihm und dem allgemeinen Sammelpunkte der parallelen Strahlen befindet, so daß die durch den Mittel-

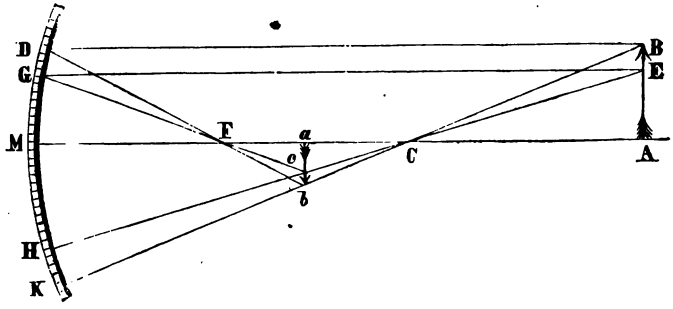
Fig. 76.



mit der Axe parallel treffenden Strahlen so zurückgeworfen werden, daß sie sich in diesem Brennpunkte vereinigen. Da die von der Sonne kommenden Strahlen, der weiten Entfernung wegen, als parallel betrachtet werden können, so hat man darin ein Mittel, die Lage des Brennpunktes und die Entfernung desselben von dem Spiegel oder die Brennweite zu bestimmen.

Wenn die Lichtstrahlen nicht von einem leuchtenden Punkte, sondern von einem Gegenstande ausgehen, so müssen sie in dem Hohlspiegel so gut wie in dem ebenen Spiegel ein Bild des Gegenstandes erzeugen. Der in der Axe liegende Punkt des Gegenstandes muß natürlich auch sein Bild wieder in der Axe finden. Von jedem anderen Punkte des Gegenstandes werden aber einmal Strahlen ausgehen, die durch den Krümmungsmittelpunkt des Spiegels gehen (B C K und E C H, Fig. 75) und daher in sich selbst zurück geworfen werden. Es wird

Fig. 75.



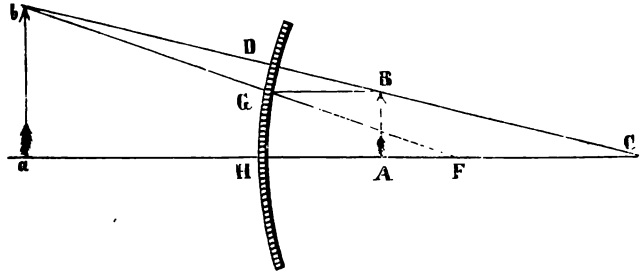
dann aber auch andere Strahlen geben, die mit der Axe parallel laufen (B D und E G) und von dem Spiegel in der Richtung des Brennpunktes F zurückgeworfen werden. Da, wo diese Strahlen den ersteren begegnen (in b und e), müssen also die Bilder dieser Punkte entstehen, da in b überhaupt alle von B kommenden Strahlen, in e alle von E kommenden vereinigt werden. In a b sieht man also das Bild des leuchtenden Gegenstandes A B. Da die Lichtstrahlen, von je höheren Punkten sie kommen, um so mehr nach unten zurückgeworfen werden, und umgekehrt, so muß dieses Bild ein verkehrtes sein, und zwar ein verkleinertes oder vergrößertes, je nachdem der Gegenstand mehr oder

weniger weit entfernt vom Brennpunkte sich befindet. Von einem jenseits des Krümmungsmittelpunktes befindlichen Gegenstande entsteht ein verkleinertes und verkehrtes Bild zwischen dem Mittelpunkte und dem Brennpunkte, und es rückt dem letzteren um so näher, je weiter sich der Gegenstand entfernt. Von einem zwischen Mittelpunkt und Brennpunkt befindlichen Gegenstande entsteht ein verkehrtes, aber vergrößertes Bild jenseits des Mittelpunktes.

Alle diese Bilder entstehen vor dem Spiegel, also in der Luft. Da wir aber gewohnt sind, bei ebenen Spiegeln die Bilder stets hinter dem Spiegel zu sehen, und da wir überhaupt nur Flächen als Ort für Bilder kennen und immer die ruhende Fläche hinter den luftigen Bildern suchen, so lassen wir uns auch hier über den Ort des Bildes täuschen und versetzen es in oder hinter den Spiegel. Daß aber das Bild wirklich in der Luft schwebt, davon wird der Beweis durch die Möglichkeit geliefert, es an seinem Orte auffangen und festhalten zu können. Ein Blättchen durchsichtigen Papieres, das wir der wirklichen Geburtsstätte des Bildes nähern, zeigt es uns genau so, wie wir es hinter dem Spiegel zu sehen meinten. Ja ein großer Hohlspiegel vermag sogar wirklich in der Luft schwebende Bilder sichtbar zu machen, und die Phantasmagorien und Geistererscheinungen der Taschenspieler sind meist nichts Anderes, als solche Luftbilder.

Es giebt einen Fall, wo das Bild nicht mehr vor, sondern hinter dem Spiegel sich bildet, weil die von dem Gegenstande ausgehenden Lichtstrahlen sich so zerstreuen, daß sie auf ihrer Rückkehr gar nicht mehr zu einer Vereinigung vor dem Spiegel gelangen können. Dies geschieht dann, wenn der zu spiegelnde Gegenstand sich dem Spiegel sehr nahe und zwar noch zwischen ihm und dem allgemeinen Sammelpunkte der parallelen Strahlen befindet, so daß die durch den Mittel-

Fig. 76.



punkt C gehenden, also in sich selbst zurückgeworfenen Strahlen (C B D, Fig. 76) und die in den Brennpunkt zurückgeworfenen (G F) sich nur in ihrer Verlängerung hinter dem Spiegel (in b) begegnen können. Es entsteht dann freilich kein Bild mehr, das man aufzufangen vermöchte, kein objectives oder physisches Bild, wie es der Physiker nennt. Ein Bild aber wird man gleichwohl sehen, und zwar an dem Orte, von welchem die Strahlen, die das Auge treffen, herzukommen scheinen, also in dem scheinbaren Vereinigungspunkte der verlängerten Strahlen hinter dem Spiegel. Freilich gelangt kein Lichtstrahl wirklich hinter den dicken metallenen Spiegel, und nur der Eindruck der zurückgeworfenen Lichtstrahlen auf unser Auge, in Verbindung mit unserer bildenden Phantasie, ist es, der uns dort ein Bild zaubert, aufrecht und vergrößert, wie es die Zerstreuung der Strahlen verlangt, ein subjectives oder geometrisches Bild, wie es vom Physiker genannt wird.

Wie der Hohl- oder Concav-Spiegel, so werfen natürlich alle gekrümmten Spiegelflächen jeder Gestalt die Strahlen leuchtender Gegenstände zurück. Bilder allerdings erzeugen sie nur, wenn ein gewisses Gesetz in ihrer Gestaltung beobachtet ist, wenn ihre Krümmung nämlich eine solche ist, daß alle mit ihrer Axe parallel auffallenden Strahlen in einem Brennpunkte vereinigt werden. Ist diese Gestalt einmal vorhanden, so muß der Spiegel seine Eigenschaft bewahren, auch wenn seine Krümmung gegen den Gegenstand gekehrt ist, wenn der Spiegel also ein erhabener oder convexer ist. Bei solchen erhabenen Spiegeln, die ihre Krümmung nach außen wenden, werden freilich die Lichtstrahlen noch mehr und noch schneller aus einander geworfen oder zerstreut werden müssen, als bei ebenen Spiegeln, und ein Vereinigungspunkt der zurückgeworfenen Strahlen kann also nur in ihrer Verlängerung hinter dem Spiegel gesucht werden. Erhabene Spiegel geben daher stets nur jene subjectiven, von uns hinter den Spiegel versetzten Bilder, die zwar aufrecht, aber stets verkleinert erscheinen wegen der durch die starke Zerstreuung der zurückgeworfenen Strahlen bedingten schnellen Näherung und Vereinigung ihrer die Bilder erzeugenden Verlängerungen. Einem Jeden sind ja wohl die innerlich geschwärzten oder metallisch glänzenden Glaskugeln in unseren Gärten bekannt, die durch ihre niedlichen, freilich wegen der verschiedenen Entfernung der Gegenstände oft verzerrten Miniaturlandschaftsbilder ein Spielzeug für müssige Spaziergänger abgeben.

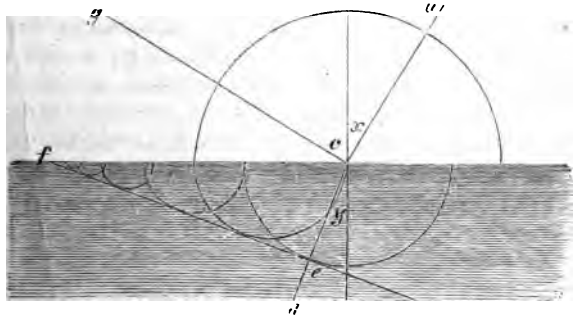
Ringsum bietet die Natur tausend und abertausend Flächen dem

Lichte dar, das von der Sonne quillt und von einem Gegenstande zum andern geworfen wird. Alle diese Flächen sind Spiegel, und wenn sie uns nicht wirkliche Bilder spiegeln, so liegt es nur an der Kleinheit und Unregelmäßigkeit dieser Flächen, die eben nur leuchtende Punkte, gleichsam unendlich kleine Abbilder des Sonnenkörpers bieten und aus diesen leuchtenden Punkten ihre eigene sichtbare Form und Fläche zusammensetzen. Selbst die Luft des Himmels, die wir unsichtbar zu nennen pflegen, wirft die Strahlen der Sonne zurück, und unmittelbar würde die Finsterniß der Nacht dem Sonnenuntergange folgen, wenn nicht die Dünste der Atmosphäre das Licht der gesunkenen Sonne noch in unser Auge strahlten und das herrliche Schauspiel der Dämmerung zauberten.

Die Brechung des Lichtes.

Wenn Wellen oder Schwingungen aus einem Mittel in ein anderes übergehen, so wird zwar ein Theil derselben zurückgeworfen, ein anderer aber schreitet durch das neue Mittel fort. Die Bewegung in diesem neuen Mittel ist jedoch eine veränderte, sowohl nach Geschwindigkeit als Richtung. Wenn das neue Mittel ein dichteres ist, so müssen die Schwingungen nach dem Gesetze aller Bewegung, da sie auf größere Widerstände treffen, verlangsamen. Tritt nun ein Wellenzug a c, dessen gleichschwingende Theilchen also in der Richtung g c

Fig. 77.



liegen, in ein dichteres Mittel ein (Fig. 77), so beginnen diese einzelnen Theilchen nicht gleichzeitig, sondern nach einander ihre lang-

sameren Schwingungen. Die zuerst eintretenden Theilchen haben bereits neue Wellen gebildet, ehe die letzten eintreten, und so erzeugt sich eine Reihe vom ersten Eintrittspunkte an immer kleiner werdender Wellenkreise, die sich zu einer einzigen, in der veränderten Richtung c d fortschreitenden Welle e f zusammensetzen.

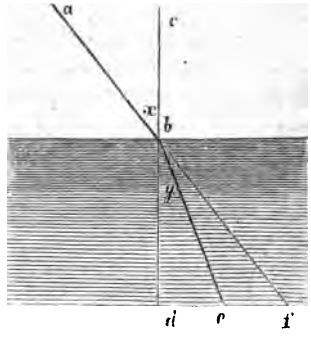
Man kann sich diesen Vorgang am besten an dem Marsche einer Cavaleriecolonne veranschaulichen, die anfangs auf gebahnter Straße hintrabt, deren Weg aber plötzlich in schräger Richtung von einem frischgepflügten Acker gekreuzt wird. Die Pferde des linken Flügels, die zuerst das ungünstige Terrain betreten, nehmen sofort einen langsameren Tritt an. Die gerade Linie der Front bleibt dadurch unverändert; aber unabsichtlich nimmt die Colonne eine andere Richtung an, schwenkt etwas nach links. Auf dem rechten Flügel ritt man nämlich noch im Trabe, während man auf dem linken schon im Schritte vorrückte. Die Bewegung verlangsamt also nach und nach von links nach rechts, und die Folge davon ist eine Schwenkung der ganzen Front von links nach rechts.

Geradeso wird jede Bewegung abgelenkt, die aus einzelnen bewegten Theilchen zusammengesetzt ist, wenn diese einzelnen Theilchen nach einander eine Verringerung ihrer Geschwindigkeit erfahren. Vor Allem aber wird so die Welle abgelenkt, die gleichsam das Urbild aller solcher zusammengesetzter Theilchenbewegungen ist. Bei der Wasserwelle ist zwar diese Ablenkung nicht zu beobachten, weil niemals verschieden dichte Flüssigkeiten neben einander ihre Oberflächen ausbreiten. Auch beim Schalle entgeht diese Richtungsveränderung, obwohl sie häufig genug stattfinden muß, unserer gewöhnlichen Beobachtung, weil es gerade die Richtung ist, worüber uns das Ohr am meisten in Ungewißheit läßt. Beim Lichte aber ist es gerade umgekehrt die Richtung, wovon uns das Auge die sicherste Kunde giebt. Wir sehen nicht die fortschreitende Lichtwelle, wir empfinden nur die Richtung, in welcher sie unsern Sehnerv trifft, den Strahl. Beim Lichte also drängen sich gerade die Brechungserscheinungen unabweislich auf.

Die Ablenkung des Lichtstrahls, d. h. der Richtung, in welcher eine Lichtwelle fortschreitet, beim Uebergange in ein anderes Mittel, wird die Brechung des Lichtes genannt. Der Winkel (x), welchen der einfallende Strahl (ab) mit dem Einfallslothe (cb), d. h. der auf die Trennungsfläche beider Mittel senkrechten Linie, bildet, heißt der **Einfallswinkel**, der Winkel (y) dagegen, welchen der gebrochene Strahl (bc) mit dem Einfallslothe (bd) bildet, der **gebrochene** oder **Brechungswinkel**. Wenn ein Lichtstrahl aus einem dünneren in ein dichteres

Mittel von gleicher materieller Beschaffenheit übergeht, so wird er zum Einfallslothe gebrochen, d. h. demselben genähert; umgekehrt aber wird er vom Einfallslothe gebrochen, d. h. von demselben entfernt, wenn er aus dem dichteren in ein dünneres Mittel übergeht. In der Regel findet dasselbe auch statt, wenn die beiden Mittel verschiedener materieller Natur sind, wenn der Lichtstrahl also aus Luft in Wasser oder umgekehrt übergeht. Doch giebt es einzelne Körper, wie die meisten brennbaren, die das Licht stärker brechen, als andere von gleicher oder selbst größerer Dichtigkeit. So bricht z. B. Terpentinöl das Licht stärker als Wasser, obgleich es geringere Dichtigkeit besitzt, und der Lichtstrahl wird daher, wenn er aus Terpentinöl in Wasser übergeht, nicht zum, sondern vom Einfallslothe gebrochen.

Fig. 78.



Die Ablenkung, welche der Lichtstrahl in der Brechung erleidet, ist natürlich ganz bestimmten Gesetzen unterworfen. Wenn die Verlangsamung der Bewegung beim Eintritt in das dichtere Mittel die Ursache der Brechung ist, so muß auch der Grad dieser Verlangsamung das Maß für die Größe der Brechung abgeben. Der Grad dieser Verlangsamung hängt aber bei demselben brechenden Mittel nur von der Richtung des einfallenden Strahles ab. Es muß also ein fester gesetzlicher Zusammenhang zwischen dem Einfallswinkel und dem Brechungswinkel bestehen. Die Wissenschaft hat diesen Zusammenhang näher dahin bestimmt, daß das Verhältniß zwischen den Sinus dieser beiden Winkel für dieselben brechenden Mittel ein unveränderliches ist. Dieses Verhältniß, das man auch den Brechungsexponenten genannt hat, und das in Wahrheit nichts Anderes ist, als das Verhältniß der Wellenlängen oder der Geschwindigkeiten, mit denen sich das Licht in den verschiedenen Mitteln fortpflanzt, ändert sich natürlich nur mit der Dichtigkeit und der Natur der brechenden Mittel. Es ist für Luft und Wasser ungefähr = 4 : 3, für Luft und Glas = 3 : 2. Es ist kleiner beim Uebergange des Lichtes aus der Luft in Eis, als beim Uebergange in Wasser, größer beim Uebergange in Alkohol, Terpentinöl, in Krystalle, in Glas oder

gar in Diamanten. Während ein Lichtstrahl, der aus der Luft mit einem Einfallswinkel von 10° eintritt, im Wasser unter 7° 28′ gebrochen wird, beträgt diese Brechung bei demselben Einfallswinkel im Glase 6° 8′.

Die Wirkung dieser Brechung äußert sich für das Auge zunächst darin, daß wir die Gegenstände, von denen das Licht durch mehrere Mittel zu uns gelangt, nicht mehr in derselben Richtung und an demselben Orte erblicken, wo sie sich wirklich befinden. Ein Ruder, das wir schräg in's Wasser tauchen, erscheint uns nicht mehr geradlinig, sondern gebrochen. Fische, die in der Tiefe schwimmen, Pflanzen auf dem Grunde des Wassers erscheinen uns wie gehoben und der Oberfläche genähert, so daß wir sie oft mit den Händen greifen zu können meinen.

Aber das Gebiet der Erscheinungen, welche uns das Gesetz der Lichtbrechung eröffnet, ist ein noch viel weiteres. Wohin der Lichtstrahl auch dringt, nirgends trifft er einen luftleeren Raum, überall begegnet er Stoffen, verschieden an Dichtigkeit, verschieden empfänglich für seine zarten Wellen. Vom fernen Weltkörper, von der Sonne, vom Sterne ausgesendet, trifft er auf die dichte Hülle unserer Atmosphäre. Die an Dichtigkeit immer zunehmenden Luftschichten lenken ihn nach dem allgemeinen Gesetze immer mehr ab, und auf gekrümmter Bahn gelangt er in unser Auge. Unser Auge aber, das immer nur in der geradlinigen Richtung des ankommenden Lichtstrahls den Lichtquell zu suchen gewohnt ist, sieht darum die Sonne, den Stern höher, als sie in Wirklichkeit stehen. Wir sehen die Sonne, wann sie bereits untergegangen und ehe sie noch aufgegangen ist; und der Astronom muß sehr genau die Abwege des gebrochenen Lichtstrahls berechnen, wenn er den Stern da finden will, wo ihn seine Rechnung hinweist. Das scheinbare Zittern der Gegenstände in erhitzter Luft ist gleichfalls eine Folge der durch ungleich dichte Luftschichten bewirkten Brechungen des Lichtes und beweist, wie gering Veränderungen sein können, um in ihren Folgen bemerkbar zu werden. Die von der bewegten Luft bald nach der einen, bald nach der andern Seite hin gebrochenen Lichtstrahlen kommen nämlich in wechselnden Richtungen in unser Auge und erzeugen jenes scheinbare Zittern. Das Funkeln der Sterne beruht wahrscheinlich auf ähnlichen Ursachen. Bei dem scheinbar außerordentlich kleinen Durchmesser der Fixsterne bewirkt schon die geringste Veränderung in der Strahlenbrechung eine scheinbare Veränderung ihrer Stellung, ein Hin- und Herschwanken, ein Funkeln. Die Pla-

neten behaupten ein ruhiges, klares Licht, weil ihr scheinbarer Durchmesser größer ist, als die stärkste Veränderung, welche der augenblickliche Wechsel in der Strahlenbrechung zu bewirken vermag.

Die totale Reflexion.

Wir haben gesehen, daß die Brechung des Lichtes aus der Aufeinanderfolge der einzelnen Schwingungen hervorgeht, welche die einzelnen Theile einer schief einfallenden Lichtwelle in den Aethertheilchen eines Körpers erregen. Je schiefer daher ein Lichtstrahl einfällt, desto weniger wird er nach dem allgemeinen Gesetze auf die Aethertheilchen des fremden Körpers wirken können, desto schwächere Schwingungen wird er erregen, desto weniger Licht wird, mit anderen Worten, in das andere Mittel eindringen. Es kann aber auch ein Fall eintreten, wo überhaupt kein Licht mehr in das zweite Mittel übergeht, wo alles Licht an der Grenzfläche nur zurückgeworfen, nicht mehr gebrochen wird. Wenn ein Lichtstrahl aus Luft in Wasser übergeht, so nimmt allerdings mit dem Einfallswinkel auch der Brechungswinkel zu. Aber der Einfallswinkel kann bis 90° wachsen, d. h. bis zum völligen Parallelismus mit der Grenzfläche, während der Brechungswinkel eine gewisse Grenze nicht überschreiten kann, die ihm nämlich durch den unabänderlichen Brechungsexponenten gesetzt ist. Für Luft und Wasser beträgt dieser Grenzwerth des Brechungswinkels $48^1/_2{}^0$, d. h. kein gebrochener Strahl im Wasser kann mit dem Einfallslothe einen größeren Winkel als $48^1/_2{}^0$ bilden. Befindet sich nun umgekehrt ein leuchtender Punkt im Wasser, so werden die von demselben ausgehenden Strahlen, wenn sie in die Luft austreten, vom Einfallslothe gebrochen, und ein Strahl, welcher im Wasser mit dem Einfallslothe einen Winkel von $48^1/_2{}^0$ bildet, wird nach seiner Brechung in der Luft einen Winkel von 90° mit dem Einfallslothe bilden, also parallel der Wasserfläche hingehen. Strahlen aber, welche im Wasser einen größeren Winkel mit dem Einfallslothe bilden, werden nach dem Brechungsgesetze gar nicht mehr aus dem Wasser austreten, gar nicht mehr gebrochen, sondern nur zurückgeworfen werden. Ganz allgemein wird es also überall, wo Licht aus einem dichteren Mittel an eine Grenzfläche gelangt, die dieses von einem dünneren Mittel scheidet, eine gewisse Grenze geben, wo kein Licht mehr durchgelassen, sondern nur noch Licht zurückgeworfen wird. Es bietet sich dann ein spiegelnder Glanz dar, der von der Fläche oder aus dem Innern des Körpers

kommt. Das ist die Erscheinung der sogenannten totalen-Reflexion.

Wenn man ein gläsernes Kölbchen oder Probirgläschen, das unten etwas Wasser enthält, schief in ein Glas mit Wasser taucht, welches einem Fenster gegenüber gestellt ist, so sieht man, wenn man von oben her darauf blickt, den unteren, mit Wasser gefüllten Theil durchsichtig, den oberen, mit Luft gefüllten Theil dagegen undurchsichtig und stark glänzend, als ob Quecksilber darin wäre. Das Licht erleidet nämlich hier, wenn das Glas hinreichend schief gestellt ist, an der Grenzfläche zwischen Wasser und Luft die totale Reflexion und wird gegen das Auge zurückgeworfen. Aus demselben Grunde erscheinen auch kleine Luftbläschen im Wasser wie glänzende, fast undurchsichtige Perlen, und ebenso werden durch die totale Reflexion Sprünge in Gläsern, leere Räume überhaupt in durchsichtigen Körpern sichtbar gemacht. Die Luft in den kleinen Zwischenräumen ist es, welche auch die Undurchsichtigkeit des Schaumes schleimiger Flüssigkeiten, des Schnees, des fein pulverisirten Glases bewirkt. Das Licht erleidet beim Durchgange durch jeden dieser lufterfüllten Zwischenräume eine Schwächung, und es kann daher nur ein sehr kleiner Theil der auffallenden Lichtstrahlen durch den Schnee oder das Pulver hindurch gelangen.

Die Erscheinung der totalen Reflexion hat daher einen wesentlichen Einfluß auf den Glanz durchsichtiger Körper. Die innere Zurückwerfung der Lichtstrahlen vermag oft die Stärke der Lichtausströmung oder des Glanzes auf das Doppelte und Vierfache zu erhöhen. Daher läßt sich aus dem Brechungsvermögen eines Körpers oft selbst im Voraus auf die Art des Glanzes schließen, welchen seine polirten Flächen zeigen müssen. Die größte Brechbarkeit deutet auf Metallglanz, eine geringere auf Diamantglanz, die geringste endlich auf Glasglanz oder Seidenglanz. Das Wunder, welches der Schleifer durch seine Kunst am Demant bewirkt, beruht nicht auf der gewöhnlichen Brechung, sondern auf der funkelnden Spiegelung der eintretenden Strahlen. In diesem Zusammenhange zwischen dem äußeren Glanze und dem inneren Wesen der Körper hat nun die Wissenschaft ein Mittel geliefert, selbst Tugenden zu entdecken, die unter unscheinbarer, schmutziger Hülle versteckt liegen. Rauhe Oberflächen nämlich vermögen oft den durchsichtigsten Körper völlig undurchsichtig zu machen. Das mattgeschliffene Glas beweist es ja. Wenn es nun schon schwer ist, den funkelnden Edelstein unter einer solchen rauhen Außenfläche zu

errathen, so erscheint es völlig unmöglich, in diesem Zustande innere Schäden und Risse an ihm zu entdecken, die ihm vielleicht jeden Werth rauben und die mühsame Arbeit des Schleifens völlig nutzlos machen würden. Die Kunst, gleichwohl durch den äußeren rauhen Schein in das innere Wesen einzudringen, beruht nun auf der Eigenschaft jedes Körpers, dessen Durchsichtigkeit durch die Unebenheiten seiner Oberfläche gestört oder vernichtet ist, diese Durchsichtigkeit vollkommen wieder anzunehmen, wenn man ihn in eine Flüssigkeit taucht, welche dasselbe Brechungsvermögen, wie er selbst, besitzt. Diese Flüssigkeit tritt dann an die Stelle der das Licht aufhaltenden Luftbläschen, und das Licht kann ungeschwächt von den Körpertheilchen zur Flüssigkeit und aus dieser wieder zu den Körpertheilchen übergehen. Schnee wird darum wieder durchscheinend, wenn Wasser in seine Poren dringt, Papier wird durchscheinend, wenn es mit Oel getränkt wird, Glaspulver erhält fast seine volle Durchsichtigkeit wieder, wenn es mit Wasser oder noch besser mit Terpentinöl übergossen wird. Für die Edelsteine lassen sich gleichfalls Flüssigkeiten von dieser Eigenschaft herstellen durch Mischung verschiedener in ihrem Brechungsvermögen bekannter Flüssigkeiten. Der bekannte canadische Balsam, eine Mischung von Cassia- und Olivenöl, das Sassafrasöl und andere ätherische Oele, in welche er seine Steine taucht, geben daher dem Juwelier die Möglichkeit, nicht nur den echten Edelstein von der künstlichen Paste zu unterscheiden, sondern auch alle Risse, die seinen Werth beeinträchtigen könnten, in seinem durchsichtig gewordenen Innern zu entdecken.

Die Abwege, auf denen die Lichtwellen in Folge der Brechung und der totalen Reflexion von den Körpern zu unserm Auge gelangen, müssen natürlich auch zu manchen Täuschungen führen. So klein und bedeutungslos diese Täuschungen nun auch erscheinen mögen, wenn nur ein Glas Wasser es ist, welches die Lichtstrahlen ablenkt und die Gegenstände an seinem Rande bald unserm Auge entzieht, bald verkehrt auf seiner Oberfläche erscheinen läßt, je nachdem wir von oben oder von der Seite darauf blicken, so großartig und wunderbar können sie werden, wenn durch eigenthümliche Umstände ganze Luftschichten unserer Atmosphäre zu Erzeugungsstätten solcher Trugbilder gemacht wurden.

Dem Reisenden auf offener See oder in endlosen Wüsten erscheinen bisweilen luftige Spiegelbilder über fern hinsegelnden Schiffen oder unter vereinsamten Palmengruppen, als ob ein geheimnißvoller Spiegel in der Luft oder am Boden sie zurückwerfe. Wenn dem See-

fahrer diese Erscheinung sich zeigt, so kann er gewiß sein, daß das Thermometer in der Höhe seines Mastes einen höheren Stand anzeigen wird, als unten auf dem Verdecke. Eine wärmere, dünnere Luftschicht befindet sich über seinem Schiffe. Durch die untere dichtere Luftschicht gelangen die Lichtstrahlen wie sonst in sein Auge; er sieht das ferne Schiff unverändert. Aber auch zu der oberen dünnen Luftschicht gelangen Strahlen und unter so schiefen Winkeln, daß sie diese Schicht nicht mehr durchdringen, sondern vollkommen von ihr zurückgeworfen werden. Man kann sich diesen Vorgang nicht besser deutlich machen, als wenn man ihn mit jenem Spiele vergleicht, mit welchem sich Kinder manchmal am Ufer eines Sees oder Flusses belustigen. Sie suchen flache leichte Steinchen oder Scherben und werfen sie möglichst flach gegen die Wasserfläche. Die Steinchen werden dann nicht nach dem Gesetze der Schwere in die Tiefe des flüssigen Elementes gezogen, sondern hüpfen leicht und weit hin über seine Fläche, wie über eine feste Decke. So hüpfen auch die auffallenden Lichtstrahlen an der Luftschicht hin, und nur die minder flach auffallenden dringen ein, um auf dem gewöhnlichen Wege zu enteilen und dem Gesetze der Brechung zu verfallen. Die von den tieferen Theilen des fernen Schiffes ausgehenden Strahlen durchdringen daher allerdings die dünne Luftschicht, bis sie, durch Brechung abgelenkt, endlich in noch höheren Schichten schief genug anlangen, um nicht mehr gebrochen, sondern der totalen Reflexion unterworfen zu werden. Die zurückgeworfenen Lichtstrahlen sind es nun, die in das Auge des Seemannes gelangen und das verkehrte Luftbild erzeugen, das in der That einem luftigen Spiegel seinen Ursprung verdankt.

Wenn dem einsamen Wüstenwanderer das lockende Traumgesicht weiter Wasserflächen, in denen die Palmen der Oase sich spiegeln, am fernen Horizonte auftaucht, so sind es wieder nicht die krankhaft erregten Sinne oder die erhitzte Phantasie, sondern einfach die Wärme- und Dichtigkeitsverhältnisse der Luft, welche dies spottende Traumbild zaubern. Ueber dem von den senkrechten Strahlen der Wüstensonne erhitzten Erdboden haben sich warme, dünne Luftschichten gebildet. Die aus der Ferne von dem Gipfel der Palme kommenden Lichtstrahlen dringen von oben her in diese dünnen Luftschichten ein, werden hier gebrochen und abgelenkt und treffen in ihrem Fortgange immer schiefer und schiefer auf die folgenden Luftschichten, bis sie endlich so schief auffallen, daß ein Durchdringen nicht mehr möglich ist, und daß sie die totale Reflexion erleiden. Diese zurückgeworfenen Strahlen gelangen

n in das Auge, und das Auge sucht den Gegenstand in der Richng dieser Strahlen und nimmt daher sein luftiges Spiegelbild in der iefe und verkehrt unter seinem wirklichen Orte wahr. Nur von den nterſten Punkten des Baumes und des Erdbodens gelangen keine Lichtstrahlen mehr in das Auge; es blickt auf diese unterste Luftschicht, wie auf eine glänzende Spiegelfläche, und wenn schwache Luftströmungen diesem leeren Raume eine zitternde, wellenartige Bewegung geben, so ist das täuschende Bild einer Wasserfläche vollendet. Von der glühenden Hitze ermattet, eilt der Wanderer den Ufern des vermeinten Sees entgegen, um bitter enttäuscht sich einsamer und trostloser als je zu fühlen in der dürren, wasserlosen Wüste.

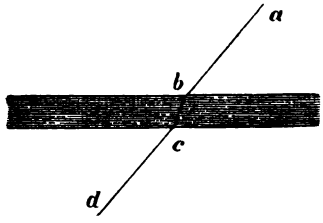
Ganz ähnlichen Ursprungs ist auch die berühmte Fata Morgana, von der man so oft in Büchern liest, jenes wunderbare Zauberbild von prachtvollen Schlössern und Säulenhallen, von hohen Thürmen und Wiesen mit Heerden und Menschenhaufen, wie es zuweilen an den Küsten von Reggio aus dem Meeresspiegel auftaucht, ein durch außergewöhnliche Strahlenbrechung gehobenes Luftbild der fernen Stadt Messina jenseits der Meerenge.

Die Lichtbrechung in Prismen und Linsen.

Alle durchsichtigen Körper, mögen sie fest oder flüssig oder luftförmig sein, müssen Brechungserscheinungen zeigen. Auch die Lichtstrahlen, welche durch die Fensterscheiben zu uns dringen, werden in ihnen gebrochen. Wenn wir gleichwohl keine Folgen dieser Brechung gewahren, wenn wir nicht, wie bei dem Ruder im Wasser oder bei dem aufgehenden Sterne, irgend eine Verschiebung oder Verzerrung der Bilder sehen, so liegt das nicht an der geringen Dicke der Fensterscheiben; denn von der Natur, nicht von der Dicke der brechenden Mittel hängt die Größe des Brechungsverhältnisses ab. Aber bei dem Durchgange der Lichtstrahlen durch die Fensterscheibe finden offenbar zwei Brechungen statt, die eine bei ihrem Eintritte, die andere bei ihrem Austritte. Diese Brechungen müssen aber vollkommen einander entgegengesetzte, einander aufhebende sein, wenn die Lichtstrahlen einmal von der Luft in das Glas, das andere Mal vom Glase in die Luft übertreten. Es kommt also nur noch auf die Flächen an, welche die brechende Glasschicht begrenzen. Sind diese Flächen parallele, wie bei der Fensterscheibe, so bleiben natürlich auch die ein- und austretenden Strahlen (Fig. 79), deren Ablenkungen ja gleich sind, einander

parallel, und die einzige Wirkung der brechenden Glasscheibe ist eine geringe Auseinanderrückung oder Verschiebung der Strahlen, die aber nur bei etwas dicken Scheiben, und wenn man sehr schräg durch sie hindurchsieht, bemerkbar werden kann.

Fig. 79.



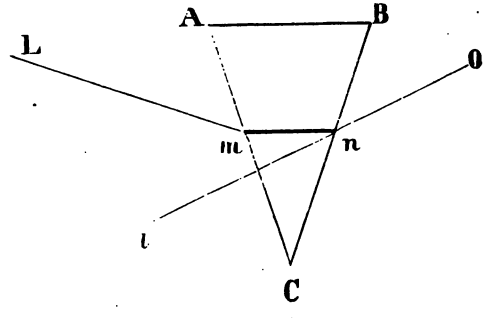
Ganz anders gestaltet sich der Verlauf der Erscheinung, wenn die Flächen, an welchen sich der Lichtstrahl bei seinem Ein- und Austritte bricht, nicht parallele, sondern unter einem mehr oder minder spitzen Winkel gegen einander geneigte sind, wie es am einfachsten bei einem dreiseitigen Glasprisma stattfindet. Der Winkel, unter welchem der Lichtstrahl die neue brechende Schicht trifft, äußert dann ebenso gut beim Austritte in die Luft, als beim Eintritte in das Glas seinen Einfluß auf die Richtung der Brechung. Sind beide Winkel verschieden, so kann die zweite Brechung die erste nicht mehr aufheben, der Lichtstrahl kann nach seinem Austritte aus dem Glase nicht mehr dieselbe Richtung wie vor seinem Eintritte verfolgen, sondern muß eine Ablenkung erfahren haben.

Am anschaulichsten wird der Vorgang wieder durch den Vergleich mit jener Cavaleriecolonne, welche in schräger Richtung auf einen gepflügten Acker stößt. Wir sahen, daß sie eine kleine Schwenkung nach links machen muß, weil der linke Flügel seine Bewegung bereits verlangsamt hat, während der rechte Flügel noch in vollem Trabe vorrückt. Ist das Ackerfeld ein paralleler Streifen, so wird der linke Flügel auch wieder etwas früher auf den festen Rasenboden anlangen und seinen schnelleren Schritt annehmen können, während der rechte Flügel noch mit den Hindernissen des weichen Bodens zu kämpfen hat. Die ganze Colonne wird also abermals dieselbe Schwenkung nach rechts machen, die sie vorher nach links machen mußte, und so wieder in derselben Richtung wie vorher fortsprengen. Bildet der Acker aber ein Dreieck, so wird einer der Flügel, etwa der rechte, einen schmäleren Theil desselben zu durchschneiden haben, als der linke, und dadurch eine Schwenkung der ganzen Colonne nach links bewirken, so daß diese nun in einer von der ursprünglichen völlig abweichenden Richtung vorrückt.

Ganz dasselbe geschieht aber auch mit dem Lichtstrahle, oder vielmehr mit den Schwingungen, deren Fortpflanzung uns die Erschei-

nung des Lichtstrahls erzeugt, wenn ihre Bewegung durch ein brechendes Mittel gehemmt wird, und wenn die schwingenden Theilchen durch verschieden lange Strecken und durch verschieden lange Zeiträume mit diesen Hindernissen in Berührung kommen. Ein Lichtstrahl, L m (Fig. 80), der durch ein dreiseitiges Glas-Prisma A B C gebrochen wird, erleidet also wirklich eine Ablenkung, nicht eine bloße Verschiebung, wie bei der Glasplatte, und tritt in der Richtung n O aus dem Prisma hervor. Das Auge O erblickt den Gegenstand durch das Prisma also nicht in L, sondern in l, und zwar unter oder über seinem wirklichen Orte, je nachdem der brechende Winkel C des Prismas nach unten oder nach oben gerichtet ist. Jeder solcher brechende Winkel erzeugt eine ähnliche Verrückung des Bildes, und so kommt es, daß wir durch vielseitig geschliffene Gläser eine Menge weithin zerstreuter Bilder desselben Gegenstandes erblicken, ein Spiel, an dem sich Kinder gern ergötzen.

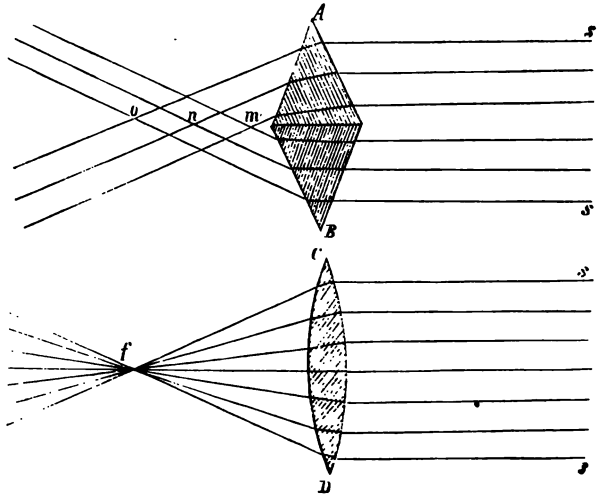
Fig. 80.



Was aber dem Kinde höchstens ergötzlich erscheint, das vermag, vom Blicke der Wissenschaft erfaßt, zu einem unschätzbaren Zaubermittel im Dienste der Menschheit zu werden. Die Zerstreuung, welche die Lichtstrahlen bei ihrer Zurückwerfung vom Spiegel erfuhren, wurde zu einem Mittel ihrer Vereinigung, zu einem Zaubermittel für wunderbare Bilder, die vergrößert oder verkleinert, bald in der Luft schwebten, bald auf der Fläche der gekrümmten Spiegel zu haften schienen. Man vereinigte gleichsam nur eine unendliche Zahl von Spiegeln zu einer bestimmten Krümmung, und dieselben Spiegel, die einzeln die Strahlen eines leuchtenden Punktes in alle Weltgegenden zerstreut hätten, vereinigten jetzt all' ihr Licht in einem gemeinsamen Brennpunkte. So wird auch die Ablenkung des Lichtes durch die Brechung bei geeigneter Gestaltung der brechenden Mittel zu einer Vereinigung der Lichtstrahlen und damit zu einer Erzeugung von Bildern führen.

Von den zahllosen Sonnenstrahlen, die ihrer weiten Entfernungen wegen unter sich parallel auf ein gläsernes Prisma fallen, wird jeder in gleicher Weise gebrochen und abgelenkt, da jeder unter dem gleichen Winkel die brechenden Flächen trifft. Wenn aber zwei Glasprismen (A und B, Fig. 81) so mit einander vereinigt werden,

Fig. 81.



daß der brechende Winkel des einen nach oben, der des andern nach unten gerichtet ist, so wird es offenbar zwei Lichtstrahlen geben, die an entsprechenden Punkten vom oberen und unteren Prisma um den gleichen Winkel abgelenkt werden, nur der eine so viel nach unten, als der andere nach oben, und die sich darum hinter jenen Prismen nothwendig begegnen und in einem Punkte m vereinigen müssen. Für jeden Lichtstrahl, der das obere Prisma trifft, wird sich aber ein anderer das untere treffende finden lassen, der durch die Brechung eine ähnliche Vereinigung mit dem ersten erfährt. Freilich wird jedes Paar solcher Lichtstrahlen in einer andern Entfernung und in einem andern Punkte (m, n, o) hinter den Prismen diese Vereinigung finden. Diese Punkte werden aber offenbar von der Neigung abhängen, unter welcher die Lichtstrahlen auf die brechenden Flächen treffen. Ließe sich nun

diese Neigung ändern, d. h. könnte man den Prismen an den betreffenden Punkten etwas andere Flächen geben, so müßte es möglich sein, die sämmtlichen Vereinigungspunkte der gebrochenen Lichtstrahlen in einen einzigen zu sammeln. Natürlich läuft diese Abänderung der Flächen auf eine Krümmung hinaus, deren genaue Form der Mathematiker zu berechnen hat. Jedenfalls lassen sich brechende Körper mit gekrümmten Flächen herstellen, welche die gesammten, parallel auffallenden Strahlen eines leuchtenden Gegenstandes durch Brechung in einen Sammelpunkt f vereinigen. Die beiden Prismen (A und B) sind in eine Linse (C D, Fig. 81) verwandelt.

Eine durchsichtige Glaslinse erfüllt also vollkommen dieselben Zwecke, zu welchen wir früher die Hohlspiegel anwenden sahen. Sie vereinigt alle hindurchgehenden parallelen Lichtstrahlen durch die Brechung in einem Sammelpunkte. Sie leistet aber natürlich auch das Umgekehrte, sie zwingt alle von diesem Brennpunkte, dessen Entfernung oder Brennweite von ihrer Krümmung abhängt und mathematisch bestimmt werden muß, ausgehenden Lichtstrahlen, in unter sich paralleler Richtung, gleichsam als ein Strahlencylinder weiter zu gehen. Die Erzeugung eines solchen Lichtcylinders gehörte aber zu den wichtigsten Aufgaben für die Leuchtthürme. Es mußte darum nahe liegen, die Blenden der Leuchtthürme durch Linsen zu ersetzen, zumal der Lichtverlust demjenigen, der bei der Zurückwerfung der Strahlen von einer Spiegelfläche eintritt, nicht im Entferntesten gleichkommen kann. An den französischen Küsten des atlantischen Oceans und des Mittelmeeres sehen wir in der That diesen Gedanken bereits ausgeführt, und es ist das Verdienst des berühmten Physikers Fresnel, trotz aller entgegenstehenden Schwierigkeiten diese für die Schifffahrt überaus wichtige Neuerung eingeführt zu haben.

Schon früher hatte man in England die Einführung der Linsen auf Leuchtthürmen versucht; aber der Erfolg entsprach den Erwartungen nicht. Es kam vor Allem darauf an, eine intensivere Leuchtkraft der Flamme zu bewirken und gleichzeitig Linsen von ungeheueren Dimensionen herzustellen. Solche Linsen mußten aber auch eine äußerst kleine Brennweite haben, d. h. jener Punkt, von welchen die Lichtstrahlen nothwendig ausgehen müssen, um unter sich parallel als Cylinder sich fortpzuflanzen, und in welchem also auch die Lampe stehen muß, durfte nur eine sehr geringe Entfernung von der Linse haben. Dies konnte allein durch eine starke Krümmung der Linsenflächen erreicht werden, was natürlich wieder zu einer großen Dicke der Linsen führen

und damit einerseits die Durchsichtigkeit derselben beträchtlich vermindern, andererseits ihr Gewicht so außerordentlich steigern mußte, daß das Räderwerk, welches das ganze Leuchtsystem in Bewegung zu setzen hat, schnell abgenutzt und zerstört werden würde. Ueberdies ist es noch heutzutage nicht möglich geworden, völlig fehlerlose Glasmassen von solcher Dicke zu erzeugen, wie sie für derartige Linsen erforderlich gewesen wären.

Fresnel wußte alle diese Schwierigkeiten zu überwinden. Im Verein mit seinem Freunde Arago gelang ihm die Herstellung einer Lampe mit mehreren concentrischen Dochten, deren Glanz dem von 25 der besten Lampen mit doppeltem Luftzuge entsprach. Die Uebelstände des großen Gewichtes und der geringen Durchsichtigkeit der angeheueren Linsen umging er dadurch, daß er gleichsam die eine Linse aus einer Menge kleiner Stücke zusammensetzte. So strömt nun von der einzigen Lampe des Leuchtthurmes durch die Linse ein Lichtglanz, welcher dem von 3 — 4000 Argand'schen Lampen oder dem eines Drittheils der gesammten Gasflammen von Paris gleichkommt, und der Schiffer, dem dieser glänzende Stern in seinen regelmäßigen Wechseln am Horizonte aufflammt, wird bereits auf dem hohen Meere von der gefährlichen Nähe der Küste benachrichtigt.

Die Uebereinstimmung zwischen den Linsen und den Hohlspiegeln muß sich aber auch auf andere Erscheinungen erstrecken, die mit ihrer Eigenschaft, zerstreute Lichtstrahlen zu vereinigen, zusammenhängen. Auch die Linse muß vor Allem Bilder der Gegenstände erzeugen, deren Lichtstrahlen von ihr gebrochen werden. Wie beim Hohlspiegel muß auch hier jeder Gegenstand, der sich außerhalb der Brennweite vor der Linse befindet, sein verkehrtes Bild hinter der Linse erscheinen lassen, und zwar näher oder entfernter, verkleinert oder vergrößert, je nachdem sich der Gegenstand in größerer oder geringerer Entfernung befindet. Das Bild eines entfernten Gegenstandes ist verkehrt und verkleinert und fällt um so näher an den Brennpunkt, je weiter der Gegenstand entfernt ist. Das Bild eines in der Nähe des Brennpunktes befindlichen Gegenstandes ist zwar auch verkehrt, aber vergrößert und erscheint um so ferner, je näher der Gegenstand dem Brennpunkte ist.

Auf der Eigenschaft der Linse, verkehrte und verkleinerte Bilder von entfernten Gegenständen zu erzeugen, beruht die Camera obscura, in welcher das durch eine Linse erzeugte Bild einer Landschaft auf einen unter 45° geneigten Spiegel geworfen wird, in welchem es dem

Auge von oben her liegend erscheint. Auf der Vergrößerung naher Gegenstände aber beruht die laterna magica oder die Zauberlaterne, das bekannte Spielwerk für Kinder. Zur Vergrößerung der bekanntlich verkehrt eingeschobenen, auf Glas gemalten Bilder wendet man hier gewöhnlich statt einer zwei Linsen an. Die Vergrößerung einer Linse hängt nämlich von der Kürze der Brennweite, also von der Stärke der Krümmung ab. Eine sehr stark gekrümmte Linse kann aber natürlich nur klein sein und also auch nur wenig Licht durchlassen. Zwei nahe hinter einander angebrachte schwächer gekrümmte, aber größere Linsen bewirken nun eine ebenso starke Vergrößerung, als eine einzige stärker gekrümmte, aber kleinere Linse, und lassen zugleich mehr Licht durch. Eine interessantere Anwendung von der vergrößernden Eigenschaft der Linsen ist in dem Sonnenmikroskope und Hydrooxygengasmikroskope gemacht worden. Bei dem ersteren ist an der Außenseite des Ladens eines sorgfältig verfinsterten Zimmers ein vermittelst einer Schraube beweglicher Spiegel so aufgestellt, daß die auf denselben auffallenden Sonnenstrahlen in wagerechter Richtung in eine Röhre gelangen, die in eine Oeffnung des Ladens eingefügt ist. In dieser gegen das Innere des Zimmers gerichteten Röhre befindet sich gegen den Spiegel hin eine größere Linse, welche die eintretenden Strahlen in ihrem Brennpunkte sammelt, und in diesem Brennpunkte befindet sich das Object, etwa der Flügel eines kleinen Insects, zwischen zwei Glasplatten eingeschlossen. Von dem auf diese Weise sehr stark erleuchteten Object wird nun durch eine gegen das Zimmer hin in einer engeren Röhre befindliche kleine Linse auf einem gegenüber aufgestellten weißen Schirme ein stark vergrößertes Bild erzeugt. Bei dem Hydrooxygengasmikroskope ist nur an die Stelle des Sonnenlichtes das höchst intensive Licht gesetzt, welches man erhält, wenn man ein Stückchen Kalk oder Kreide im Knallgasgebläse, d. h. in der Flamme des in reinem Sauerstoffgas verbrennenden Wasserstoffgases, glühend macht.

Der Brennpunkt, in welchem alle mit der Axe der Linse parallelen Strahlen vereinigt werden, bildet natürlich auch die Grenze für die Erzeugung von Bildern. Ein zwischen diesem und der Linse befindlicher Gegenstand kann kein wirkliches Bild mehr erzeugen, da die von ihm ausgehenden Strahlen durch die Brechung in der Linse nicht vereinigt, sondern in ihrer Divergenz nur geschwächt werden. Das Auge erblickt zwar noch ein Bild jenseits der Linse, aber nur ein Scheinbild, ein subjectives, das von der eigenen Thätigkeit des sehenden Organs dahin versetzt wird, wo die aus der Linse tretenden Licht-

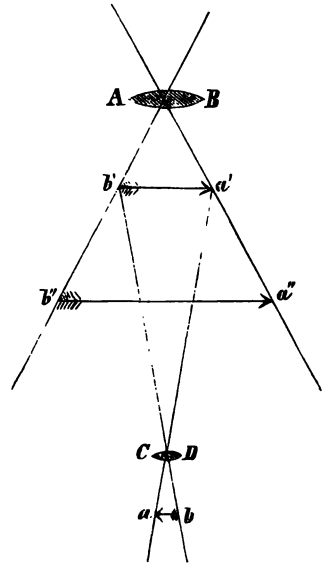
strahlen in ihrer Verlängerung zusammentreffen. Dies Bild ist natürlich ein aufrechtes und vergrößertes und erscheint um so weiter entfernt, je näher der Gegenstand sich der Linse befand.

Aus dem Gesagten erklärt es sich, daß die Buchstaben einer Schrift durch eine solche Linse vergrößert erscheinen, wenn man sie in geringem Abstande von der Schrift hält. Auch die Vergrößerung und Entfernung der perspectivisch gezeichneten Bilder in einem Guckkasten oder Panorama wird dadurch bewirkt, daß man sie innerhalb der Brennweite, doch nahe am Brennpunkte einer Linse von bedeutender Brennweite aufstellt. Der wichtigste Gebrauch von dieser Eigenschaft der Linse ist aber unfehlbar bei dem Mikroskope und dem Fernrohre gemacht worden.

Um einen kleinen Gegenstand noch deutlich zu sehen, müssen wir denselben bekanntlich dem Auge so nahe als möglich bringen. Für jedes Auge aber giebt es eine gewisse Grenze, unter welche ein Gegenstand dem Auge nicht genähert werden darf, wenn überhaupt noch ein deutliches Sehen stattfinden soll. Diese Grenze des deutlichen Sehens beträgt für ein gewöhnliches gesundes Auge etwa 8—10 Zoll. Befindet sich ein Gegenstand innerhalb dieser Grenze, so wird er dem Auge wieder deutlich sichtbar gemacht durch Einschaltung einer Linse zwischen Gegenstand und Auge, weil das Letztere jetzt statt des Gegenstandes dessen vergrößertes und entfernteres Bild erblickt. Solche zur Vergrößerung dienende Linsengläser sind die bekannten Lupen. Sollen sie stark vergrößern, so müssen sie natürlich eine möglichst kurze Brennweite haben, also sehr stark gekrümmt sein. Deshalb können sie aber wieder auch nur sehr klein sein und können dann auch nur wenig Licht durchlassen. Man pflegt darum Lupen keine kürzere Brennweite als von einem halben Zolle zu geben. Allerdings kann man, um die Schwächung des Lichtes auszugleichen, für eine starke Erleuchtung des Gegenstandes sorgen, am besten durch einen darunter angebrachten Spiegel, welcher das Wolkenlicht reflectirt. Aber immer wird das einfache Mikroskop oder die Lupe bei starker Vergrößerung an Lichtschwäche und Kleinheit des Gesichtsfeldes zu leiden haben. Man nimmt deshalb, wo man stärkerer Vergrößerung bedarf, seine Zuflucht zu zusammengesetzten Mikroskopen. Man bringt nämlich den Gegenstand (ab, Fig. 82), ehe man ihn durch das Vergrößerungsglas betrachtet, in die Nähe des Brennpunktes einer Linse CD, jedoch außerhalb der Brennweite derselben. Es entsteht dann ein verkehrtes und vergrößertes Bild a'b' desselben, das man nun erst durch eine

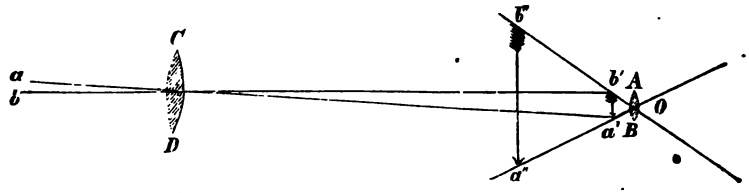
zweite Linse AB nochmals vergrößern und zugleich in die deutliche Sehweite hinausrücken läßt. So erhält man das zusammengesetzte Mikroskop in seiner einfachsten Gestalt, aus zwei Linsen bestehend, von denen die erste (CD) den Namen des Objectivglases, die zweite (AB) den des Ocularglases führt. In der Regel aber schaltet man zwischen beide Linsen noch eine dritte ein, das sogenannte Collectivglas, das den Zweck hat, die durch das Objectiv gebrochenen Strahlen genauer in einem Punkte zusammenzubringen. Ebenso pflegt man, da zwei größere, schwächer gekrümmte Linsen eine ebenso starke Vergrößerung geben, als eine stärker gekrümmte kleinere, sowohl das Ocular als das Objectiv aus zwei oder mehr Linsen zusammenzusetzen. Gute Mikroskope gewähren eine 500- bis 1000-malige linnare Vergrößerung, ohne daß eine Schwächung des Lichtes eintritt, welche ein deutliches Sehen unmöglich macht. In neuester Zeit hat das optische Institut von Powell und Lealand in England sogar ein Objectivglas geliefert, das nur $^1/_{50}$ Zoll Brennweite besitzt und eine 3000malige linnare Vergrößerung gestattet. Ein solches Glas ist selbst fast ein mikroskopischer Gegenstand, und seine Verfertigung kann jedenfalls als einer der glänzendsten Triumphe der optischen Kunst gelten.

Fig. 82.



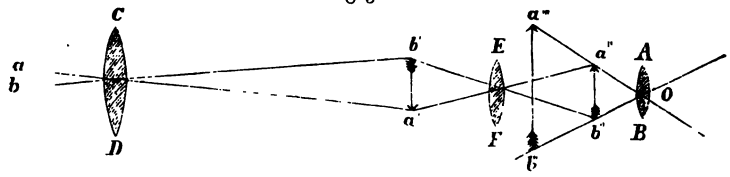
Auf einer ganz ähnlichen Zusammensetzung wie das Mikroskop beruht auch das astronomische Fernrohr. Es besteht gleichfalls aus einer Objectivlinse (CD Fig. 83), durch welche von dem fernen Gegenstande (a b) ein umgekehrtes Bild (a' b') erzeugt wird, und aus einer Ocularlinse (AB), welche jenes Bild vergrößert und in die deutliche Sehweite (a'' b'') hinausrückt. Ein solches Fernrohr kann natürlich nur verkehrte Bilder geben, und ein Erdfernrohr,

Fig. 83.



das aufrechte Bilder geben soll, muß daher eine etwas veränderte Einrichtung erhalten. Hier schiebt man zwischen die Objectivlinse (CD, Fig. 84) und die Ocularlinse (AB) noch eine dritte Linse (EF)

Fig. 84.



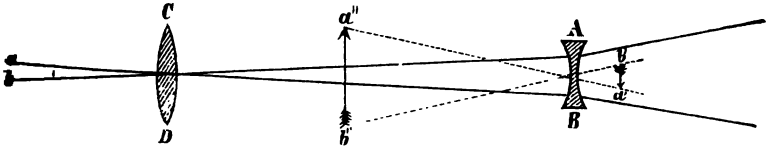
ein, welche das von der ersteren erzeugte umgekehrte Bild (a'b') abermals umkehrt und so wieder aufrichtet. Durch die Ocularlinse wird also erst dieses zweite Bild (a'' b'') vergrößert und in die deutliche Sehweite (a''' b''') hinausgerückt. Ueberdies pflegt man die Umkehrung des durch die Objectivlinse erzeugten Bildes nicht durch eine, sondern durch zwei Linsen bewirken zu lassen und ebenso zwischen diese und die Ocularlinse noch ein Collectivglas einzuschalten, so daß also das Ocular des gewöhnlichen Erdfernrohres aus 4 Linsen besteht.

Wenn wir nun die bisher besprochenen, von zwei convexen oder erhabenen Flächen begrenzten Linsen an die Stelle der Hohlspiegel treten und durch Brechung die ähnlichen Erscheinungen bewirken sahen, wie jene durch Reflexion, so werden wir die erhabenen oder Convexspiegel durch Hohllinsen oder durch Gläser ersetzen können, die von hohlen oder Concavflächen begrenzt sind. Wenn jene die mit der Axe parallel eintretenden Strahlen durch die Brechung in ihrem Brennpunkte vereinigten, so werden diese die parallel einfallenden Strahlen divergent machen oder auseinander streuen. Man bezeichnet darum auch die **Convexlinsen als Sammellinsen**, die concaven als **Zerstreu-**

ungslinsen, gerade wie umgekehrt die Hohlspiegel Sammelspiegel, die erhabenen Zerstreuungsspiegel heißen.

Zerstreuungslinsen können natürlich niemals physische, sondern nur geometrische Bilder erzeugen, da diese Bilder nicht durch eine wirkliche Vereinigung der gebrochenen Lichtstrahlen, sondern nur dadurch entstehen, daß das Auge die zu ihm kommenden Strahlen verfolgt und ihre vermeintlichen Ausgangspunkte zu Bildern vereinigt. Diese Bilder müssen immer nahe bei der Linse und zwar innerhalb der Brennweite liegen, aufrecht und verkleinert sein. Durch eine Zerstreuungslinse betrachtet, erscheinen daher alle Gegenstände aufrecht, verkleinert und näher gerückt. Dieser letztere Umstand läßt auch diese Linsen für die Zwecke des Fernrohres geeignet erscheinen. Schon in unserem gewöhnlichen Operngucker haben wir ein einfaches Fernrohr, dessen Ocular durch eine Zerstreuungslinse ersetzt ist, und welches darum eine so auffallende Näherung der damit betrachteten Personen bewirkt. Aber auch das älteste Fernrohr, das sogenannte holländische oder Galilei'sche, hatte eine solche Zerstreuungslinse als Ocular. Dieses Ocular (A B, Fig. 85) befindet sich hier innerhalb der Brennweite

Fig. 85.



des convexen Objectives (C D) und demselben so nahe, daß die von dem Objective gebrochenen Strahlen sich etwas hinter dem Brennpunkte des Oculares zu einem verkehrten Bilde (a' b') vereinigen würden. Die convergent auf das concave Ocular auffallenden Strahlen werden daher durch die Brechung in demselben divergent, und das an der anderen Seite befindliche Auge erblickt nun in der deutlichen Sehweite das aufrechte Bild (a'' b''). Natürlich darf dieses Ocular, welches ja die von dem Objective kommenden Strahlen vor ihrer Vereinigung aufzunehmen hat, nicht zu klein sein und also auch keine zu kurze Brennweite haben, wenn das Gesichtsfeld nicht zu sehr beschränkt werden soll. Das Galilei'sche Fernrohr wird darum immer eine geringere Vergrößerung gewähren, als das astronomische, und es ist darum auch mit Recht von diesem verdrängt worden.

Auch in Betreff des Fernrohres hat die optische Kunst in neuerer Zeit ähnliche glänzende Erfolge erzielt, wie in Betreff des Mikroskopes. Zu den vorzüglichsten gehört das aus dem optischen Institute von Merz hervorgegangene, auf der Pulkowaer Sternwarte bei Petersburg befindliche, das ein Objectiv von 14 Zoll Durchmesser in einer Brennweite von 21 Fuß besitzt und eine 2000malige Vergrößerung gewährt. Die Herren Powell und Lealand haben aber auch dieses jetzt durch ein Objectivglas von 25 Zoll Oeffnung in Schatten gestellt.

Ehe die optische Kunst sich zu der bewundernswerthen Höhe erhoben hatte, ehe man es namentlich gelernt hatte, Uebelstände zu beseitigen, welche, wie wir später sehen werden, für die Lichtbrechung durch Glaslinsen aus der Farbenzerstreuung hervorgehen, vermochte man durch Linsenfernröhre oder Refractoren nur sehr mäßige Vergrößerungen zu bewirken. Man suchte darum die Objectivlinsen durch metallene Hohlspiegel zu ersetzen, die leichter von einiger Größe und beträchtlicher Brennweite herzustellen waren. Unter diesen Spiegelteleskopen, die man zum Unterschiede von den Refractoren oder dioptrischen Fernröhren auch Reflectoren oder katoptrische Fernröhre oder schlechtweg Teleskope nennt, hat das Herschel'sche Riesenteleskop eine besondere Berühmtheit erlangt. Der Spiegel desselben maß nicht weniger als 4 Fuß im Durchmesser und hatte eine Brennweite von 40 Fuß, und die Vergrößerung, welche es gewährte, war eine 7000malige. Doch ist dies Instrument, da eine feuchte Nacht die Politur des Spiegels verdarb, wenig im Gebrauche gewesen, und seine wichtigsten Entdeckungen, des Planeten Uranus und seiner Trabanten, wie der Trabanten des Saturn, hat der große Astronom mit Hülfe eines 20füßigen Teleskopes gemacht, das nur eine 2000fache Vergrößerung gestattete. In neuerer Zeit hat Lord Rosse bei Dublin ein Teleskop aufgestellt, dessen Spiegel 6 engl. Fuß im Durchmesser und eine Brennweite von 50 Fuß hat. Bei den riesigen Dimensionen, welche solche Teleskope erfordern, und bei dem außerordentlichen Gewichte, das sie durch den Metallspiegel, das lange und weite Rohr und die Unterlage erlangen, sind sie für die meisten astronomischen Zwecke, die eine leichte Beweglichkeit fordern, nicht geeignet. Nur wo man starker Vergrößerung und bedeutender Lichtstärke bedarf, wie bei der Betrachtung der Nebelflecke, giebt man noch immer den Teleskopen den Vorzug.

Fernrohr und Mikroskop haben dem Menschen zwei neue Welten eröffnet. Das eine zertheilte ihm die Nebel des Himmels und lichtete

ihm das Dunkel eines Jenseits, in welchem nach ewigen Gesetzen gewaltige Welten kreisen; es zertheilte ihm die Nebel des eigenen Geistes, indem es ihn in den Sternen der Ferne die Gesetze und die Ordnung der Heimat lesen ließ. Und wie das eine die hehre Poesie der funkelnden Nacht ihm eröffnete, so schuf ihm das andere wunderbares Leben aus dem Staube, den sein Fuß zertritt. Es führte ihn in das Innere der Berge und lehrte ihn schauen, was vor Jahrtausenden und aber Jahrtausenden ein unendlich kleines Thierleben bauete; es zeigte ihm, wie es hoch in den Regionen der Luft, wie es am Grunde des Oceans lebt und webt, und wie es an der Spiegelfläche des Meeres ein seltsam phosphorisches Leuchten zaubert. Es führte ihn in das Innere des Lebens ein, in das Geheimniß des organischen Baues und der organischen Entwickelung. Und aus dem Unsichtbarkleinen läßt es ihn dasselbe Gesetz des Lebens und der Vernunft lesen, das in den Bahnen der Himmelskörper waltet. Es ist ein wunderbarer Umschwung, welchen die kleine Glaslinse in der Weltanschauung der Völker hervorgerufen hat.

Viertes Kapitel.

Die Wärmewellen.

Das Wesen der Wärme und ihre Wirkung.

An die Wärme mehr noch, als an das Licht, knüpft der Mensch den Gedanken des Lebens. Der kalte Winter ist ihm ein Bild des Todes, sein erstarrender Athem wandelt die Schöpfung in ein schweigendes Grab. Bang drängt sich der Mensch dann um den häuslichen Herd, um an seinem Feuer den engen Kreis des eigenen Lebens in der Familie wachzuerhalten. Schauerlich malt die Phantasie die eisigen Regionen der Pole als eine freudenlose, verkümmerte Welt. Mit Entzücken dagegen schwebt die Sehnsucht der Tropenwelt zu, dem Paradiese der Erde, wo Farrn und Gräser sich zu Wäldern erheben, wo Hunderte von Pflanzen in einem einzigen Baume wurzeln, aus dessen dunkelem Laube ihre Blüthen und Früchte leuchten, wo das Leben in der Farbenpracht der Insecten und Vögel, in den Riesengestalten der

Dickhäuter, in der elastischen Kraft der Raubthiere seine höchsten Triumphe feiert.

An die Wärme knüpfte schon das Alterthum den Gedanken des Lebens, ihm war sie die schöpferische Urkraft der Welt. Ein Centralfeuer ruhete im Schooße der Erde, und die Erde selbst war ein „Herd" der Götter. Vestalinnen bewachten den Römern das heilige Feuer im Tempel der Vesta, und die alten Deutschen und Slaven zündeten ihre Johannisfeuer auf den Bergen an zur Feier der Sonnenwende.

Der Wärme entlehnt noch heute die dichterische Sprache die Bilder kräftigen Lebens. Sie spricht von einer Gluth der Liebe, von einer Wärme des Gefühls; sie läßt Jüngling und Jungfrau für einander entbrennen und den Redner seine Hörer entflammen. In der That, wie die Erde unter grüner Hülle ewige Feuergluth birgt, so trägt der Mensch in seinem Herzen einen Herd, dessen Flammen lodern von der Geburt bis zum Tode.

Und die Wärme, diese trügerische und zugleich so zauberische Macht — was ist sie? —

Es giebt Fragen, die, im Augenblicke aufgeworfen, Tage, Jahre, Jahrhunderte zu ihrer Beantwortung verlangen, die Millionen von Menschen beschäftigen und von Millionen ungelöst in das Grab genommen werden. Es giebt aber auch Stimmungen, in denen wir für jede Frage, und wäre sie die Schwierigste, sofort eine Antwort bereit haben. In solcher Stimmung befanden sich die Alten. Sie hatten für jede Frage eine Antwort, für jedes Ding eine Erklärung. Sie gaben sich oft freilich kaum die Mühe, ihre Sinne zu gebrauchen, und die Schlüsse, die das Volk aus den rohesten Beobachtungen zog, wurden oft die Grundlage philosophischer Forschung.

Wenn die Alten über die Wärme philosophirten, so ging das nicht anders, als daß sie die Ursache einer so wichtigen Erscheinung für ein Element erklärten, d. h. für einen jener unerklärlichen, von Anbeginn existirenden Stoffe, aus denen einst die Welt geschaffen worden. Sie sahen nichts, als das Ueberströmen der Wärme von einem Körper zum anderen, sie sahen nur Verluste und Zunahmen. Ihr Gefühl lehrte sie wohl unterscheiden zwischen einer gewöhnlichen eisernen Kugel, die sie nach Belieben in den Händen halten konnten, und einer eisernen Kugel, die durch das Feuer eines Ofens stark erhitzt worden war, und die sie nicht anrühren durften, ohne sich zu verbrennen. Aber sie sahen nur, daß die Kugel in dem Feuer etwas aufgenommen

hatte, was sie draußen allmälig verlor, und was konnte dem schnellurtheilenden und nach Erklärung verlangenden Verstande einfacher sein, als dieses aufgenommene Etwas für einen Stoff zu erklären? Die Philosophie dictirte das Dasein eines Wärmestoffes, und die Alten waren damit fertig, die Neuen blieben es lange Zeit. Noch vor 60—70 Jahren lächelte man über jeden Zweifel an der Stofflichkeit der Wärme, und mancher Chemiker und Physiker hantirte mit seinem Wärmestoffe, als könne er ihn in Büchsen füllen und neben Salzen und Säuren aufbewahren. Zwar war er mit der Zeit ein anderer geworden, man hatte ihn zu einem „unwägbaren Stoffe" gestempelt, ihm chemische Eigenschaften zuertheilt und ihn veranlaßt, wie die Säure mit der Base, chemische Verbindungen nach bestimmten Zahlenverhältnissen mit den Körpern einzugehen. Aber ein Stoff blieb es doch immer.

Das Erste, was wir von der Wärme erfahren, ist, was uns die Empfindung durch unsere Sinne davon lehrt. Wir nennen warm, was dem Gefühle warm erscheint, und bezeichnen die Ursache dieser Empfindung als Wärme, unbekümmert darum, ob sie ein Stoff, eine Kraft oder was sonst sei. Es giebt aber noch andere Wirkungen dieser Wärme, an denen wir ihr Wesen besser erkennen können.

Der eiserne Reifen, den der Schmied glühend um den Radkranz legt, ist durch die Erhitzung im Schmiedefeuer ausgedehnt worden und zieht sich nun bei seiner Erkaltung um den Radkranz zusammen. Unmöglich kann man sich diese Ausdehnung in einer ähnlichen Weise vorstellen, wie etwa das Aufgehen des Brodteiges durch Gase, die sich in seinem Inneren entwickelten und beim Kaltwerden entwichen. Das Brod wird beim Erkalten leichter, während noch Niemand auch nur den Verlust eines Millionstel Gramm bei einer erkaltenden Eisenkugel nachgewiesen hat. Man muß sich darum bescheiden, zu erklären: Es geht durch die Wärme eine gewisse innere Bewegung in den Körpern vor, welche die Ausdehnung derselben zur Folge hat.

Daß diese innere Bewegung durch die Wärme keineswegs ganz unbedeutend ist, davon können schon zahlreiche Erscheinungen des Alltagslebens überzeugen. Manche Hausfrau geräth außer sich darüber, daß sie einen eisernen Topf, den sie bequem in den Ofen geschoben, heiß geworden nicht wieder herausziehen kann, daß sie einen Plättbolzen, der kalt bequem in das Plätteisen gepaßt hatte, rothglühend nicht mehr hineinbringen kann. Noch häufiger kann man diese Beobachtung machen, wo eine ungleichförmige Ausdehnung das plötzliche Zerreißen

der Theile eines Körpers herbeiführt. Das Krachen geheizter eiserner Oefen, das Bersten des Eises an strengen Wintertagen, das Abspringen der Glasur an Kochgefäßen bei zu schneller Erhitzung, das sind Erscheinungen, in denen sich ziemlich gewaltsam die ausdehnende Kraft der Wärme ausspricht. Holz und Papier krümmen und verwerfen sich, Gläser springen, wenn sie ungleich erwärmt werden.

Nicht blos in großartiger, blendender und betäubender Gestalt, erschütternd und zerschmetternd enthüllen sich die Naturkräfte. Still und verborgen unter unscheinbarer Hülle wirken sie oft langsam und unbemerkt Größeres und Gewaltsameres, als in der einzelnen überwältigenden Erscheinung. Wie der mächtige Hebel nicht allein in unseren Maschinen, nicht allein in dem wuchtenden, mit seinen Wurzeln Felsen spaltenden Baumstamme, sondern auch in dem Flüstern der Blätter wirkt und durch die Länge des Blattstieles das stille Rauschen und Wogen der Lindenkrone, durch die Drehung des Blattstieles das unstete Zittern des Espenlaubes veranlaßt, so wirkt auch die ausdehnende Kraft der Wärme, dem Auge und Ohre unmerklich, Felsen spaltend und zertrümmernd, stolze Bauwerke der Vernichtung preisgebend, störend und hemmend in die Ordnung und die Sicherheit des täglichen Lebens eingreifend. Die eisernen Klammern, mit denen man Mauern und Schiffswände befestigt, lösen sich in der Hitze, die Maßstäbe, mit denen wir messen, verlängern und verkürzen sich unter unseren Händen, die Pendel- und Spiralfedern unserer Uhren verändern nach Tages- und Jahreszeit ihre Länge und beschleunigen oder verlangsamen den Gang der Instrumente, an denen wir die Zeit messen. So klein und unbedeutend diese ausdehnende Kraft auch in diesen unmerklichen Veränderungen erscheint, so gewaltig kann sie werden, wenn man sie in rechter Weise benutzt. Durch die zusammenziehende Kraft sich abkühlender erhitzter Eisenstangen hat man die gewaltigen Mauern des Conservatoriums der Künste zu Paris wieder in ihre senkrechte Stellung zurückgeführt; durch dieselbe Kraft hat man mittelst weniger eiserner Reifen die Risse der großen Kuppel der Peterskirche zu Rom geschlossen. Die größten Baumeister mußten zum Schmiede in die Lehre gehen, um die Wunder ihrer Kunst vor dem Verfalle zu retten.

Das Thermometer.

Unter den tausend Ausdehnungserscheinungen der Wärme ist die steigende und fallende Quecksilbersäule des Thermometers, an

welcher wir den Wärmezustand oder die Temperatur unserer Umgebung messen, die bekannteste. Das Thermometer ist eins der unentbehrlichsten Instrumente geworden. Kaum schickt noch eine Mutter ihr Kind in's Freie, ohne einen Blick auf das Thermometer geworfen zu haben, um sich Rath zu erholen, ob eine leichtere oder wärmere Kleidung zu wählen sei. Im Krankenzimmer wird dem Thermometer fast dieselbe Achtung gezollt, wie den Arzneiflaschen. Für den Gärtner ist es der Schutzgeist seines Gewächshauses, und der Bierbrauer und der Zuckerfabrikant würden ohne seine Hülfe die erheblichsten Verluste erleiden, da eine für das Gefühl unmeßbare Ab- oder Zunahme der Wärme leicht die Stoffe unter den Händen verwandeln könnte. Aber noch vor 260 Jahren besaß man kein Thermometer, und in seiner heutigen Gestalt ist es kaum über 100 Jahre alt. Erst mußte die Ausdehnung der Körper durch die Wärme zu einer feststehenden Thatsache werden, ehe man darin ein Mittel finden konnte, die Wärme zu messen.

Der Holländer Cornelius Drebbel, als Arzt und Naturforscher hochgeehrt an den Höfen Englands und Deutschlands, war es, der um das Jahr 1605 das Thermometer erfand. Es war eine einfache, oben zu einer Kugel erweiterte Glasröhre, deren eingeschlossene Luft durch Erwärmung verdünnt wurde, und die man dann mit ihrem unten offenen Ende in ein Gefäß mit gefärbtem Wasser stellte. Beim Abkühlen des Instruments stieg natürlich das Wasser in Folge des Luftdrucks in der Röhre empor, und wenn nun die Sonnenstrahlen auf die obere Kugel fielen oder die warme Hand sie berührte, so drängte die durch die Wärme ausgedehnte Luft das Wasser wieder abwärts. Es war also ein Instrument, das noch keineswegs der Wissenschaft zu ihren genauen Wärmemessungen dienen konnte, das zunächst nur in der Hand des Arztes blieb, um ihm Veränderungen in der Temperatur des Krankenzimmers anzudeuten. Es maß überhaupt nicht die Wärme allein, sondern, was man freilich damals noch nicht wußte, zugleich auch den Druck der Atmosphäre auf das Wasser in der offenen Röhre. Fast ein Jahrhundert währte es, ehe das Instrument eine wissenschaftliche Gestalt erhielt. Die berühmte Akademie zu Florenz war es zunächst, welche sich mit Verbesserungen desselben beschäftigte. Sie ersetzte die Luft durch rothgefärbten Weingeist und verschloß die Röhre, die sie unten mit einer Kugel versah, nachdem durch Erhitzung alle Luft ausgetrieben war. Sie erreichte so zuerst das Ziel, die Einwirkungen des atmosphärischen Druckes von dem Wärmemesser fern zu

halten. Noch aber war die erste Bedingung eines Maßes nicht erfüllt; es fehlte die feste, gleiche Theilung, es fehlten die festen Punkte, welche solcher Theilung zur Grundlage dienen konnten. Die ersten, übereinstimmenden, nach einem festen Principe getheilten Thermometer lieferte erst im Jahre 1714 Fahrenheit, ein Mechaniker in Danzig. Er wählte die kälteste Temperatur, die er in dem strengen Winter des Jahres 1709 in Danzig erlebte, und die er für die möglichst größte Kälte, für den eigentlichen Nullpunkt der Wärme ansah, die er aber zugleich durch eine Mischung von Schnee und Salmiak künstlich wieder hervorzubringen wußte, zum Nullpunkte seiner Scale, die Blutwärme (96°) dagegen als oberen festen Punkt. So ergaben sich für den Schmelzpunkt des Eises 32° und für den Siedepunkt des Wassers 212°. Diese beiden letzteren Punkte, die schon Newton empfahl, bildeten für alle späteren Thermometerscalen, für die 80theiligen von Reaumur und de Luc, wie für das 100theilige von Celsius, die Grenzpunkte. De Luc war der Erste, der das Queckſilber an die Stelle des Weingeistes setzte und so unseren gewöhnlichen heutigen Thermometern ihre Gestalt gab.

Die Zuverlässigkeit unseres Thermometers als Maß für die Temperatur setzt voraus, daß einer bestimmten Verlängerung der Queckſilbersäule auch eine bestimmte Wärmezunahme entspricht, daß von zwei Wärmequellen z. B., deren eine das Queckſilber um 10°, die andere um 20° steigen macht, die letztere auch die doppelte Wärmemenge entwickelt. In Wirklichkeit trifft diese Voraussetzung nicht genau ein. Wenn man 5 vollkommen gleiche Thermometerröhren, die sämmtlich genau in 80 Grade getheilt sind, und bei denen allen gleichmäßig der Nullpunkt durch schmelzenden Schnee, der Siedepunkt des Wassers mit 80° bezeichnet ist, mit 5 verschiedenen Flüssigkeiten füllt, die eine mit Queckſilber, die zweite mit Olivenöl, die dritte mit gesättigter Salzsoole, die vierte mit absoluten Alkohol, die fünfte mit Wasser, so müßten nach jenen Voraussetzungen die Flüssigkeiten in allen 5 Röhren, wie bei 0° und 80°, auch für alle zwischenliegenden Temperaturen den gleichen Höhestand, die gleichen Grade zeigen. Aber wenn das Queckſilber auf 70° steht, hat das Olivenöl nur 69,4°, die Salzsoole nur 68,4°, der Alkohol 67,8°, das Wasser sogar nur 62° erreicht. Bei 60° des Queckſilberthermometers ist der Unterschied noch größer geworden. Das Olivenöl zeigt jetzt nur 59,3°, die Salzsoole 57,1°, der Alkohol 56,2°, das Wasser 45,8°. Bei 40° des Queckſilberthermometers ist der Stand des Olivenöls 39,2°, der Salzsoole

36,3°, des Alkohols 35,1°, des Wassers nur 20°. Bei 20° des Queckſilberthermometers endlich iſt das Olivenöl auf 19,3°, die Salzſoole auf 17,3°, der Alkohol auf 16,5°, das Waſſer auf 4,1° geſunken. Die Ausdehnung der Flüſſigkeiten iſt alſo keineswegs eine gleichmäßige, ſie zeigen vielmehr für jede Temperatur eine andere Ausdehnungsgröße, und das Waſſer dehnt ſich ſogar von 40—80° des Reaumur'ſchen Queckſilberthermometers gerade um einen dreimal ſo großen Raum aus, als von 0°—40°.

Wenn alle Flüſſigkeiten eine ſolche Ungleichheit der Ausdehnung zeigen, ſo iſt zu vermuthen, daß ſie auch dem Queckſilber eigen iſt, und die Zuverläſſigkeit unſeres Thermometers würde damit ein Ende haben. Die Beobachtung lehrt indeß ſehr bald, daß die Ausdehnung durch die Wärme erſt da ungleichmäßig zu werden anfängt, wo ſich die Flüſſigkeit einem anderen Aggregatzuſtande, ihrem Feſtwerden oder ihrer Verdampfung, nähert. Bei den meiſten Flüſſigkeiten iſt dies ſchon zwiſchen 0° und 100° C., alſo in dem Bereiche unſerer gewöhnlichſten Wärmemeſſungen der Fall. Nur bei dem Queckſilber beſteht ein bedeutenderer Abſtand zwiſchen dieſen Punkten, da ſein Siedepunkt bei 360°, ſein Gefrierpunkt bei — 39° C. liegt. Bis zu 200° können wir alſo auf eine ziemlich gleichmäßige Ausdehnung des Queckſilbers rechnen, und das iſt der Grund, weshalb dem Queckſilber der Vorzug vor allen anderen Flüſſigkeiten bei der Füllung von Thermometern gebührt.

Für ganz genaue Meſſungen bedarf es indeß immerhin eines anderen Körpers, der unter allen Umſtänden, auch in ſehr hohen Temperaturen eine abſolut gleichmäßige Ausdehnung beſitzt. Da nun die Ungleichmäßigkeit der Ausdehnung offenbar in Zuſammenhange mit der Veränderlichkeit der Aggregatzuſtände ſteht, ſo wird jener Körper von gleichmäßiger Ausdehnung ſich am eheſten unter denjenigen Luftarten finden, die, ſoweit wenigſtens unſere Erfahrung reicht, noch niemals flüſſig oder feſt wurden, und die ſelbſt die ſinnreichſten und künſtlichſten Maſchinen unſerer Phyſiker und Chemiker nicht in die Tropfenform bannen konnten. Dahin gehört aber unſere gewöhnliche atmoſphäriſche Luft, die in der That das beſte Material zur Füllung unſerer Thermometer bietet.

Schon im Anfange dieſes Jahrhunderts wurden von dem franzöſiſchen Phyſiker Gay-Luſſac Verſuche angeſtellt, um die Ausdehnung von Luftarten zu prüfen. Eine gewöhnliche, genau gemeſſene Thermometerröhre wurde mit der zu prüfenden, völlig trockenen Luftart gefüllt,

und nur ein ganz kleiner Queckſilberfaden darin zurückgelaſſen, um das Steigen und Fallen der Luftſäule anzuzeigen. Durch Eintauchen in Schnee wurde der Nullpunkt, durch Eintauchen in ſiedendes Waſſer der Siedepunkt feſtgeſtellt. Als Reſultat ergab ſich, daß alle Luftarten ſich gleich ausdehnten, daß ſie bei 100° einen gleichen Raum einnahmen, wenn ſie es bei 0° gethan hatten, daß ſie bei allen Zwiſchentemperaturen, ganz entgegengeſetzt den Flüſſigkeiten, ſtets gleiche Grade anzeigten, daß ſie alſo eine gleichförmige Ausdehnung beſaßen. Durch neuere Verſuche, namentlich von Magnus und Regnault, hat dieſes Reſultat freilich einige kleine Abänderungen erfahren. Es hat ſich gezeigt, daß die Größe der Ausdehnung bei der atmoſphäriſchen Luft etwas geringer iſt, als früher angenommen wurde, daß ſie ferner nicht für alle Gaſe genau gleich groß iſt, und daß ſie namentlich mit zunehmender Dichtigkeit der Luft etwas wächſt.

Deſſenungeachtet iſt das Luftthermometer das vorzüglichſte und das eigentliche Normalthermometer. Alle Angaben anderer Thermometer können nur inſoweit als richtig gelten, als ſie mit dem Luftthermometer übereinſtimmen. Ueberdies beſitzt es die größte Empfindlichkeit. Freilich ſind ſeine Angaben von dem Barometerſtande abhängig und bedürfen demnach einer beſtändigen Correction. Darum iſt es freilich für den gewöhnlichen Gebrauch zu unbequem. Aber es findet ſeine Anwendung ſtets da, wo es darauf ankommt, ſehr geringe Veränderungen der Wärme anzugeben. Zu dieſem Zwecke hat es eine beſondere Form erhalten, in welcher es dem Phyſiker als Differential-Thermometer bekannt iſt.

Ein ſolches Inſtrument beſteht gewöhnlich aus zwei gläſernen Hohlkugeln, die mit verdünnter Luft gefüllt und durch ein enges Thermometerrohr verbunden ſind, das in ſeinem unteren Theile eine ſchwer verdunſtende Flüſſigkeit, z. B. Schwefelſäure, enthält. Iſt die Temperatur der Luft in beiden Kugeln gleich, ſo ſteht natürlich auch die Flüſſigkeit in beiden Schenkeln gleich hoch. Bei dem geringſten Temperaturunterſchiede dagegen tritt ein Steigen und Fallen dieſer Flüſſigkeit in den Schenkeln ein.

Wie hier die große Empfindlichkeit der Luft gegen die ausdehnenden Wirkungen der Wärme ſie für die feinſten Wärmemeſſungen empfiehlt, ſo macht die Gleichmäßigkeit ihrer Ausdehnung ſie auch zur Meſſung ſehr hoher Temperaturen geeignet. Man darf nur an die Stelle der einen Glaskugel eine hohle Platinkugel ſetzen, die durch ein Platinrohr mit dem hinreichend gegen die Einwirkungen der Wärme

geschützten Glasapparate verbunden ist, und das Steigen und Fallen der Flüssigkeitssäule wird auch die hohen Temperaturgrade messen, denen die Platinkugel ausgesetzt wird. Früher bediente man sich zu diesem Zwecke sogenannter Pyrometer, die theils auf der Eigenschaft des Thones, in großer Hitze Wasser abzugeben und sich zusammenzuziehen, theils auf der verschiedenen Ausdehnung von Graphit und Platin beruhten. Ihre Temperaturangaben waren indeß sehr ungenau und konnten nur zu einer annähernden Schätzung der Wärmezunahme dienen.

Ausdehnungserscheinungen.

Das Luftthermometer gewährt uns durch die Genauigkeit seiner Wärmemessungen ein Mittel, die Ausdehnung an den verschiedensten Körpern zu beobachten. Daß auch die festen Körper eine solche Ausdehnung erleiden, lehren schon die gewöhnlichsten Erfahrungen. Aber diese Ausdehnung ist keineswegs eine gleichmäßige und für alle Stoffe übereinstimmende, wie bei den Luftarten, sondern eine nach der Natur des Stoffes verschiedene und mit der Temperatur bald schneller bald langsamer wachsende. Schon das Lockerwerden von eisernen Haken in Mauern, von metallenen Ringen um hölzerne Axen kann uns überzeugen, daß Stein und Holz durch die Wärme weniger ausgedehnt werden, als Metalle. Aber diese Abhängigkeit der Ausdehnung von der Natur der Stoffe, von dem innern Zusammenhange ihrer Theile bei den festen Körpern muß um so selbstverständlicher erscheinen, als etwas Aehnliches sogar bei den Luftarten, wo von einem Zusammenhange der Theile kaum die Rede sein kann, hervortrat. Durch Versuche sind nun diese Verschiedenheiten in Zahlen festgestellt worden. So dehnt sich eine 10 Fuß lange Stange von Schmiedeeisen, von 0° auf 100° erhitzt, um $1^3/_4$ Linien aus, eine gleichlange Stange von Gußeisen um $1^1/_3$ Linie, eine Stange von Stahl um 2 L., von Kupfer um $2^1/_2$ L., von Messing um 3 L., von Zink um $4^1/_2$ L., von Glas nur um $1^1/_5$ L. Die Ausdehnung der festen Körper ist auch ebenso wenig eine völlig gleichmäßige, wie die der Flüssigkeiten, und es sind ebenfalls die Veränderungen des Aggregatzustandes, das Erstarren und Verdampfen, womit diese Unregelmäßigkeiten zusammenhängen. Wenn auch der Schmelzpunkt der festen Körper ziemlich hoch liegt, so kann das doch nur eine größere Gleichförmigkeit der Ausdehnung bei niederen Temperaturgraden zur Folge haben. Durch

Versuche ist nachgewiesen, daß die Zunahme der Ausdehnung bei höheren Hitzegraden eine sehr bedeutende ist. Die 10 Fuß lange Stange von Schmiedeeisen, die sich bis zu einer Temperatur von 100° C. nur um $1^3/_4$ L. verlängert hatte, dehnt sich bei 350° C. um $6^1/_2$ L. in der Nähe des Schmelzpunktes sogar um $26^1/_2$ L. aus, die Gußeisenstange bei 350° C. um $5^2/_3$ L. und in der Nähe des Schmelzpunktes um $23^1/_2$ L., die Kupferstange bei 350° um 9 L. und dem Schmelzpunkte nahe um 35 L., die Zinkstange bei 350° um $12^1/_4$ L. und beim Schmelzpunkte um $18^1/_5$ L.

Diese Ausdehnung der Körper greift abermals störend in unser Urtheil und unsere Kenntniß von den wirklichen Verhältnissen der Dinge ein. Wenn schon jede Bewegung auf der Erde durch die Axendrehung der Erde Störungen erlitt, so daß kein Wurf genau sein Ziel zu erreichen vermag, daß selbst das Gewicht der Körper wechselt mit der Entfernung vom Aequator und mit dem Abstande vom Mittelpunkte der Erde, daß kein Ton, kein Lichtstrahl strenggenommen in derjenigen Richtung unsere Sinne trifft, in welcher er ursprünglich erregt wurde, wenn wir also nur noch annähernd wägen und messen und Urtheile über Richtungen fällen können, und nur allenfalls der Forscher sich noch einige Sicherheit seines Urtheils zu wahren weiß, indem er die einzelnen Umstände, unter welchen er es fällt, mit der gleichen Genauigkeit verzeichnet; so werden wir jetzt auch die räumlichen Verhältnisse der Dinge nicht mehr für unwandelbar halten dürfen, da wir auch die Ausdehnung der Körper wechseln sehen mit der Wärme. Wir dürfen einem Körper eine bestimmte Größe nur noch zugestehen für eine bestimmte Temperatur, und der Stempel der Behörden selbst schützt unsere Maßstäbe nicht davor, in der nächsten Secunde andere zu sein. So zwingt die wissenschaftliche Erfahrung zu Vorsichtsmaßregeln selbst für die einfachsten bürgerlichen Verhältnisse. Wenn man mit einem geaichten Maßstabe im Sommer und Winter bei Temperaturunterschieden von vielleicht 40° C. Messungen vornimmt, so können sich auf Längen von 100 Fuß bei eisernen Maßstäben Unterschiede von 7 Linien, bei messingenen sogar von 11 Linien ergeben. Jeder Maßstab hat seine richtige Länge nur bei einer einzigen Temperatur, und jede Messung muß auf diese eine Temperatur zurückgeführt werden, wenn man nicht statt *eines* Maßes verschiedene anwenden will. Für die Normalmaße ist daher in den verschiedenen Ländern eine solche Temperatur als Einheit festgestellt, für den rheinländischen Fuß und die toise du ...ibe von Eisen, die Temperatur von + 13° R.

für den englischen Yard von Messing die Temperatur von + 62° F., für das Meter von Platina in Frankreich 0° C.

Aber nicht die Längenmessung allein, auch die Zeitmessung erleidet durch diese Wärmeeinflüsse Störungen, und zwar noch weit beträchtlichere. Zum genauen Gange einer Pendeluhr ist die unveränderliche Länge ihres Pendels ein unumgängliches Erforderniß; denn von der Länge des Pendels hängt die Schnelligkeit der Schwingungen ab. Da nun aber das Pendel so wenig, wie irgend ein anderer Körper, unter dem Einflusse der Wärme seine Länge auch nur einen Augenblick zu behaupten vermag, so muß ein beständiges Schwanken, ein wechselndes Schneller- und Langsamergehen der Uhren die Folge sein. Durch Anwendung eines Compensationspendels, das aus zwei verschiedenen Substanzen so zusammengesetzt ist, daß die von der einen bewirkte Verlängerung des Pendels stets von der anderen wieder aufgehoben wird, läßt sich diese Störung wenigstens annähernd vermeiden. Unsere gewöhnlichen Pendeluhren, die keine solche Compensationsvorrichtung haben, bleiben schlechte Zeitmesser, gehen im Sommer nach, im Winter vor. Derselbe Vorwurf trifft auch unsere Taschenuhren. Hier wird durch die Spiralfeder ein kleines Schwungrad, die Unruhe, in Bewegung gesetzt, welches den Gang der Uhr regulirt. Die Schnelligkeit der Schwingungen desselben hängt von der Kraft der Spiralfeder, von der Last und dem Trägheitsmomente der Unruhe ab. Durch die Wirkung der Wärme wird nun sowohl die Spiralfeder verlängert, so daß ihre Schwingungen langsamer erfolgen, als auch das Trägheitsmoment der Unruhe vermehrt, indem ihre Masse weiter von dem Drehpunkte entfernt wird; die Uhr geht also langsamer. Bei genauen Uhren, bei Chronometern namentlich, von deren gleichmäßigem Gange oft das Leben vieler Hunderte von Seefahrern abhängt, setzt man deshalb die Unruhe aus sogenannten Compensationsstreifen von Messing und Stahl zusammen. Diese Streifen sind an einander gelöthet, und die steigende Wärme bewirkt daher eine Krümmung derselben, so daß kleine Metallstückchen, die an ihrer innern Seite befestigt sind, der Axe genähert werden und dadurch das Trägheitsmoment der Unruhe vermindern. In ähnlicher Weise hat man Metallthermometer construirt, welche die äußere Form einer Taschenuhr haben, und in denen ein Zeiger durch die Krümmung eines Compensationsstreifens in Bewegung gesetzt wird.

Unter den flüssigen Körpern ist es besonders das Wasser, welches durch seine Ausdehnungserscheinungen auch für das gewöhnliche Leben einen Einfluß gewinnt. Aus den Versuchen, die man in dieser Be-

ziehung angestellt hat, geht hervor, daß gerade das Wasser eine merkwürdige Ausnahme von der sonst allgemein für die Ausdehnung der Körper durch die Wärme angenommenen Regel bildet. Es dehnt sich nämlich beim Erwärmen von 0° bis 4° C. nicht aus, wie andere Flüssigkeiten, sondern zieht sich zusammen und erreicht etwa bei 4° C. seine größte Dichtigkeit. Ueber 4° erwärmt, dehnt es sich aber aus, nimmt dann bei 8° nahe denselben Raum ein, wie bei 0°, und fährt dann fort, nach der allgemeinen Regel aller Flüssigkeiten von 8° bis 100° sich weiter auszudehnen. Beim Uebergange in den festen Zustand, beim Gefrieren, erfährt das auf 0° erkaltete Wasser plötzlich eine noch weit beträchtlichere Ausdehnung, die ungefähr 5 bis 7 Procent seines Volumens beträgt. Diese Ausdehnung des Wassers beim Erstarren erklärt eine Menge der alltäglichsten Erscheinungen: daß Eis auf dem Wasser schwimmt, daß mit Wasser gefüllte verschlossene Gefäße beim Gefrieren desselben bersten, daß selbst starke eiserne Bomben, in denen Wasser gefriert, mit Heftigkeit zersprengt werden, daß Felsen im Winter zerspalten werden, daß Thürschwellen, Straßenpflaster durch den Frost gehoben, Wasserleitungen, Mauern, Bäume zerrissen werden.

Die Eigenthümlichkeit des Wassers, seine größte Dichtigkeit bei 4° C. zu erlangen, wirkt wesentlich auf die Eisbildung in stehenden Gewässern ein. Wenn sich gegen den Winter hin mit der sinkenden Lufttemperatur auch das Wasser in Seen und Teichen an der Oberfläche abkühlt, so sinkt zunächst das kältere Wasser, da es, so lange seine Temperatur 4° übersteigt, schwerer ist, als das wärmere, zu Boden und ersetzt sich an der Oberfläche durch wärmeres Wasser aus der Tiefe. Durch diesen beständigen Wechsel gleicht sich allmälig die Temperatur der gesammten Wassermasse bis zu + 4° C. aus. Wenn aber bei fortgesetztem Sinken der Lufttemperatur auch die Temperatur der obersten Wasserschicht unter 4° C. herabgeht, so beginnt diese sich wieder auszudehnen, wird leichter und sinkt jetzt nicht mehr zu Boden, sondern erkaltet bis 0° und erstarrt zu Eis. Die gebildete Eisdecke gewährt dann den unteren Wasserschichten Schutz gegen das weitere Eindringen der Kälte und verhindert so das völlige Ausfrieren stehender Gewässer. Bei fließenden Gewässern kann eine so regelmäßige Ueberlagerung der Wasserschichten nach ihrer Dichtigkeit oder ihrem specifischen Gewichte natürlich nicht eintreten, da sie beständig durch einander gemischt werden. Die Erkaltung schreitet hier bis zum Boden des Flusses hinab und erreicht für die ganze Wassermasse den Ge-

frierpunkt. Da die Krystallisation aber immer zuerst an festen Punkten beginnt, so bilden sich auch die ersten Eiskrystalle an Ufern, Felsen, Pfählen, vor Allem aber auf dem Boden der Flüsse, wo die schwächere Strömung überdies die Krystallbildung begünstigt. Diese Eiskrystalle am Boden vergrößern sich allmälig und werden dann ihrer Leichtigkeit wegen vom Wasser gehoben und an die Oberfläche getrieben. So entsteht das sogenannte Grundeis der Ströme, das mit seiner Vermehrung allmälig die Strömung an der Oberfläche hemmt, endlich zum Stehen kommt und so die Eisdecke über den Fluß zum Schutze gegen ein weiteres Eindringen des Frostes bildet.

Alle diese eigenthümlichen Ausdehnungserscheinungen flüssiger Körper in der Nähe ihres Erstarrungs- oder Verdampfungspunktes, fester Körper in der Nähe ihres Flüssigwerdens sind nicht Erscheinungen der Wärme selbst, sondern Wirkungen derselben. Sie geschehen zum Theil auf Kosten der Wärme, indem jene innere Theilchenbewegung, die das Wesen der Wärme ausmacht, in eine andere, räumlich und äußerlich hervortretende Bewegung übergeht. Die ganze Verwandlung der Aggregatzustände, die in einer so innigen Beziehung zur Wärme steht, das Erstarren, das Schmelzen, das Verdampfen oder Sieden der Körper, beruht auf solchen Uebergängen aus einer Bewegungsform in eine andere. Diese Verwandlung der Bewegungen aber wird später einen besonderen Gegenstand der Erörterung bilden.

Die Wärmeleitung.

Wenn auch die Ausdehnung der Körper nur eine Wirkung der Wärme ist, so haben wir sie doch in einer solchen Allgemeinheit an das Wesen der Wärme geknüpft gesehen, daß wir sie zu ihrem Maße machen konnten. Wir haben darin eine innere Theilchenbewegung erkannt, und es fragt sich nun, ob diese Bewegung auf dem Ueberströmen eines Stoffes oder blos auf der fortschreitenden Mittheilung eines anfänglichen Stoßes beruht. Eine Bewegung der ersten Art würde eine Gewichtserhöhung der erhitzten Körper bedingen, die doch endlich einmal der immer mehr verfeinerten Wage bemerklich werden müßte. Eine Bewegung der zweiten Art würde der Wellenbewegung des Wassers, des Schalles, des Lichtes gleichen. Für die eine oder die andere müssen die Beweise in den Erscheinungsformen gesucht werden.

Die Eisenstange, welche der Schmied in die Kohlengluth legt,

wird durchglüht, und er muß sie mit der Zange fassen, während er die halbglühenden Kohlen mit der Hand zurecht legt. Das Eisen hat die Wärme aufgenommeu, und sie hat sich schneller durch seine ganze Masse verbreitet, als durch die Kohle, schneller als durch das brennende Holzscheit, das der Schmied vielleicht als Leuchte in der Hand schwingt. Die Wärme theilt sich also von dem einen Körper dem andern durch Berührung mit, aber dem einen leichter als dem andern, den einen schneller durcheilend als den andern. Es giebt mit andern Worten gute und schlechte Wärmeleiter. Die Metalle, namentlich Silber und Kupfer, gehören zu den besten, Holz, Papier, Stroh, Asche und Schnee zu den schlechtesten Wärmeleitern.

Daß die Körper Wärme leiten, wußte die Hausfrau längst, wenn sie ihre Suppe in ihrem Topfe kochte. Aber sie irrte sich, wenn sie das Wasser für einen besonders guten Wärmeleiter hielt, weil sie es etwa in ihrem Topfe so schnell sich durch seine ganze Masse gleichmäßig erwärmen sah. In Wirklichkeit muß man von der unmittelbaren Verbreitung der Wärme in der Flüssigkeit die andere Bewegungserscheinung unterscheiden, die nur die Folge der ausdehnenden, verdünnenden und leichter machenden Kraft der Wärme ist. Die an den Wänden des Topfes erwärmten Wassertheilchen dehnen sich nämlich aus, werden leichter und steigen darum in die Höhe, während die kalten, also dichteren oberen Theilchen niedersinken. In dieser beständigen auf- und niedergehenden Bewegung der Theilchen beruht die schnelle und gleichmäßige Erwärmung der Flüssigkeiten. Hat das Kochgefäß eine enge Ausgußröhre, so bleibt in dieser das Wasser noch lange kalt, während es im Topfe bereits kocht. Wollte man von oben her das Wasser erhitzen, etwa durch brennenden Schwefeläther, den man darauf gösse, so würde kaum die geringste Erhöhung seiner Temperatur erfolgen, weil die Circulation der Theilchen nicht möglich wäre. Die Flüssigkeiten sind eben sehr schlechte Wärmeleiter.

Die ununterbrochene Bewegung der Theilchen, welche von der erwärmten Gefäßwand ausgeht, ist aber nicht die einzige Bedingung der vollkommenen Durchwärmung einer Flüssigkeit. Ihre unmittelbare Berührung mit der erhitzten Gefäßwand ist ebenso unerläßlich. Gewiß ist es Wenigen unbemerkt geblieben, daß, wenn sie eine blanke Metallplatte bis zum Glühen erhitzten und dann Wassertropfen auf dieselbe fallen ließen, diese Tropfen kugelförmig blieben, die Metallfläche nicht benetzten, langsamer verdampften, als wenn das Metall weniger heiß gewesen wäre, und endlich in einer fortwährenden drehen-

den Bewegung begriffen waren. Man wird dann vielleicht auch die Beobachtung gemacht haben, daß, sobald das Metall sich etwas abkühlte, das Wasser plötzlich in heftiges Sieden gerieth und nach allen Seiten umhergeschleudert wurde. In einem glühenden Metalltiegel lassen sich selbst größere Wassermengen in einen solchen Tropfen- oder sphäroidischen Zustand bringen, und was das Auffallendste dabei ist, wenn man ein Thermometer in diese Tropfen taucht, so zeigt es eine Temperatur an, die noch mehrere Grade unter dem Siedepunkte des Wassers ist. Das ist der berühmte Leidenfrost'sche Versuch, der, zuerst im Jahre 1756 angestellt, seitdem mit den verschiedensten Flüssigkeiten, mit Alkohol, Schwefeläther, flüssiger Kohlensäure, schwefeliger Säure, wiederholt, immer zu demselben Resultate geführt hat. Er beruht hauptsächlich darauf, daß die Flüssigkeit im sphäroidischen Zustande die erhitzte Fläche nicht berührt, und lehrt also, daß Flüssigkeiten nur in unmittelbarer Berührung mit der Wärmequelle die Wärme leicht durch Mittheilung empfangen.

Höchst interessant sind die neueren Untersuchungen von Boutigny über diesen Gegenstand. Danach geht eine kleine Flüssigkeitsmasse in den sphäroidischen Zustand über, wenn das Gefäß, in welches man sie tröpfelt, eine Temperatur besitzt, die eine gewisse Grenze übersteigt. Für Wasser beträgt diese Grenztemperatur 171 °C., für Alkohol 134°, und sie ist im Allgemeinen um so niedriger, je niedriger der Siedepunkt der Flüssigkeit liegt. Die Temperatur der Flüssigkeit im sphäroidischen Zustande dagegen ist von der des Gefäßes unabhängig und immer etwas niedriger, als die ihres Siedepunktes, für Wasser 96°,5, für Alkhol 75 °,05. Besonders überraschend ist ein Versuch Boutigny's, bei welchem er in einen glühenden Tiegel von Platina oder Silber flüssige schwefelige Säure gießt und dann, wenn diese die sphäroidische Gestalt angenommen, etwas Wasser zusetzt. Das Wasser gefriert nämlich augenblicklich und läßt sich als Eis aus dem glühenden Tiegel schütten. Offenbar liegt hier die Temperatur der in sphäroischem Zustande befindlichen schwefeligen Säure, gerade wie beim Wasser, unter dem Siedepunkte der Flüssigkeit, also unter — 10 ° C.

Der sphäroidische Zustand des Wassers ist wahrscheinlich auch sehr häufig die Ursache von Dampfkesselexplosionen. Befindet sich nämlich zu wenig Wasser in dem Kessel, so kann dasselbe in Folge der zu starken Erhitzung der Kesselwände in den sphäroidischen Zustand übergehen. Wenn dann die Kesselwände durch irgend eine Ursache eine Abkühlung unter jene Grenztemperatur von 171 ° C. erfahren,

so wird das Wasser plötzlich und mit der größten Heftigkeit in Dampf verwandelt.

Im Zusammenhange mit allen diesen Erscheinungen dürfte auch Manches stehen, was von den Geschichtsschreibern des Mittelalters über Feuerproben berichtet wird. Angestellte Versuche haben gezeigt, daß auch die Ausdünstungsfeuchtigkeit der Hand eine Dampfatmosphäre bilden könne, welche die innige Berührung mit glühendem Metall zu hindern im Stande ist. Noch wirksamer ist eine Salmiaklösung oder eine Mischung von Salmiak mit schwefeliger Säure, und man wird, wenn man die Hand damit befeuchtet, ebenso gut wie mancher Taschenspieler, geschmolzenes Blei und flüssige Bronze berühren können. Auch die Erzählung von Arbeitern in Schmelzhütten, die mit bloßen Füßen über frisch gegossenes Eisen gegangen wären, oder ihre Hände für kurze Zeit in geschmolzenes Eisen, Kupfer oder andere Metalle getaucht hätten, hat durch Boutigny's Versuche eine Bestätigung erhalten. Nur muß in allen diesen Fällen die Temperatur des geschmolzenen Metalls keine zu niedrige sein und namentlich nicht zu nahe an derjenigen Temperatur liegen, bei welcher das geschmolzene Metall wieder fest wird.

Die Meeresströmungen.

Die geringe Leitungsfähigkeit des Wassers für die Wärme hat, wie wir gesehen haben, auch Ungleichheiten in der Erwärmung und darum auch Ungleichheiten in der Ausdehnung zur Folge, die zu einer Bewegung, zu Strömungen führen. Aber nicht blos in unserm Kochtopfe finden solche Strömungen statt, im großartigsten Maße zeigen sie sich in den großen Wassermassen der Erde, in den Meeren. Die Sonne erwärmt diese Meere ungleich unter den verschiedenen Breiten, und diese Ungleichheiten können sich bei der Langsamkeit der Wärmemittheilung nicht schnell genug ausgleichen. Am bedeutendsten ist die Erwärmung unter dem Aequator, und hier zeigt sich darum auch die ausdehnende Kraft der Wärme auf das Wasser am wirksamsten. Es ist hier leichter als an den Polen, und so fließt das leichte warme Wasser der Tropen zu den Polen, das schwere kalte Wasser der Pole zum Aequator ab. Trotz der hohen Temperatur, die das Wasser der Tropenmeere an der Oberfläche zeigt, findet man daher schon in einer Tiefe von 300 — 600 Fuß eine dem Punkte der größten Dichtigkeit

nahe kommende Temperatur. Die Sonne würde das Meer trotz seiner Tiefe durchwärmt haben, wenn nicht das wärmere Wasser immer abgeflossen und das kalte Polarwasser von unten an seine Stelle getreten wäre. Von welchem Einflusse die ausdehnende Kraft der Wärme auf die Bewegung des Meeres sein muß, läßt sich daraus ermessen, daß die mittlere Temperatur der Meeresoberfläche unter dem 60° n. Br. zu 3°,8, am Aequator zu 28°,5 gefunden worden ist. Einem solchen Temperaturunterschiede von 24°,7 entspricht eine Erhebung des Aequatorialwassers über das Niveau des Wassers unter dem 60. Grade von ungefähr 4 Proc. der Tiefe, was für eine Meerestiefe von nur 1000 Fuß eine Erhöhung von 40 Fuß ergeben würde. Da die Meerestiefe aber weit größer, zum Theil wohl über eine ganze Meile ist, so müßte sich diese Erhebung in's Ungeheuere steigern, und an der Oberfläche eine mächtige, das ganze Meer einnehmende Fluthung gegen die Pole entstehen, während von dort das kältere, schwerere Wasser sich als ebenso mächtiger Unterstrom gegen den Aequator zu bewegte. Mancherlei andere Wirkungen aber, namentlich die Verdunstung, mäßigen dieses Uebermaß. Daß immerhin noch die Erhebung in Folge der Ausdehnung merklich bleibt, zeigt sich am deutlichsten an der bekanntesten und großartigsten Strömung äquatorialer Meeresfluthen, an dem Golfstrome. Zur Winterzeit zeigt dieser Golfstrom in der Höhe von Hatteras einen Temperaturunterschied von nahezu 10° gegen das angrenzende Wasser. Danach muß bei 144 Faden Tiefe die Mitte des Stromes nahezu 2 Fuß höher sein, als die Oberfläche der angrenzenden Gewässer des atlantischen Meeres, und die Oberfläche des Stromes muß eine doppelt geneigte Ebene darstellen, von der herab wie von einem Dache sich kleine Strömungen nach beiden Seiten ergießen müssen. Die Beobachtung hat diese Erscheinung in der That bestätigt.

Natürlich können alle diese Strömungen nur im Allgemeinen vom Aequator zu den Polen oder umgekehrt gerichtet sein. Schon die Rotation der Erde, die auf keine größere Bewegung auf der Erdoberfläche ohne Einwirkung bleibt, muß sie ablenken. Der Aequatorialstrom, der mit der großen Rotationsgeschwindigkeit des Aequators in die höheren Breiten gelangt, muß den Gewässern, zu denen er kommt, allmälig nach Osten voraneilen und auf der nördlichen Erdhälfte in eine Nordostströmung, auf der südlichen in eine Südostströmung verwandelt werden. Die Polarströme, die in Breiten vordringen, welche eine größere Rotationsgeschwindigkeit besitzen, als sie mitbringen, müssen zurückbleiben, westlich abgelenkt und zu Südwestströmen auf der Nordhälfte,

zu Nordwestströmen auf der Südhälfte der Erde werden. Vorspringende Landmassen, Engen des Meeres, überhaupt Küsten- und Bodenbildung müssen ebenfalls ablenkend auf die Strömungen einwirken. Selbst die Winde, die in manchen Meeren Monate lang in derselben Richtung wehen, können nicht ohne Einfluß bleiben. Endlich müssen die Ströme selbst einander stören und ablenken. Bisweilen kommt es vor, daß ein warmer Strom einem kalten, also schwereren, begegnet. Es entsteht dann entweder eine Gabelung, oder der warme Strom wird von dem kalten zur Seite geworfen, oder endlich er wird so von ihm unterwühlt, daß er sich in eine dünnere Lage ausbreiten muß.

Am bekanntesten sind die Strömungen des atlantischen Oceans geworden. Hier kommt aus dem Canale von Mozambique der sogenannte Capstrom, der seine warmen Gewässer dem südatlantischen Ocean zuführt. In der Nähe der Nadelbank begegnet ihm eine in rein östlicher Richtung verlaufende Strömung, welche die Wasser des atlantischen Oceans mit denen des indischen Meeres verbindet; sie lenkt ihn von seiner Richtung ab, so daß er von da ab verhältnißmäßig langsam an der Westküste Afrikas als südatlantische Strömung hingeht. Durch die entgegenstehende Küste von Congo wird der Strom abermals abgelenkt und bildet nun die mächtige Aequatorialströmung, die von Osten nach Westen quer über den Ocean hinfließt und in der Nähe des Caps St. Roque sich in zwei Arme spaltet. Der südliche Arm läuft als brasilianische Strömung langsam an der Küste von Südamerika hin, wird aber etwa unter dem 40° s. Br. von der um Cap Hoorn kommenden atlantischen Strömung wieder nach Osten abgelenkt und bildet mit ihr vereinigt die erwähnte südliche Verbindungsströmung. Der nördliche Arm, verstärkt und beschleunigt durch die Wasser des Amazonenstromes, zieht sich längs der Küste von Brasilien und Guyana nordwestlich nach den Antillen hin. Hier dringt er, vereinigt mit dem durch den Nordostpassat veranlaßten nördlichen Aequatorialstrome, in das caraibische Meer und stößt gegen die Mosquitoküste. Durch die Straße von Yucatan hindurchgehend, strömt er in den Golf von Mexico, in welchem die Wassermassen einen Kreislauf längs der ganzen Küste beschreiben. Durch die Meerenge von Florida dringt nun aus dem mexicanischen Golf der berühmte Golfstrom hervor, der sich an der nordamerikanischen Küste bis zum Cap Hatteras hinzieht. Durch die von Newfoundland herdrängende Polarströmung gezwungen, biegt er hier nach Osten ab und spaltet sich endlich im Norden der Azoren. Der nördliche Zweig geht in nordöstlicher Richtung gegen die Küsten

von Großbritannien und Norwegen bis zum Nordcap und selbst Spitzbergen hin. Der südliche biegt etwa in der Breite der iberischen Halbinsel nach Süden um und geht immer längs der afrikanischen Küste hin bis zum Golfe von Guinea, indem er die afrikanische und Guinea-Strömung bildet. Ein Theil dieses südlich verlaufenden Stromes geht etwa unter dem 20° n. Br. mit der erwähnten, durch den Nordostpassat bewirkten Strömung als Aequatorialstrom wieder über den Ocean zurück zu den Antillen. Ein Theil der warmen Wassermassen, welche der nördliche Zweig des Golfstroms gegen die Westküsten Europas führt, dringt als Rennelsstrom in die Bai von Biscaya, beschreibt in dieser einen Halbkreis und wendet sich dann ebenfalls gegen die britische Küste. Reißender und tausendmal wasserreicher als der Mississippi, schüttet der gewaltige Golfstrom seine Wasser in den atlantischen Ocean aus. Anfangs, bei seinem Austritte aus der Meerenge von Florida, nur 8 bis 10 geogr. Meilen breit, dehnt er sich allmälig zu einer Breite von 60 — 70 Meilen aus, verliert aber dadurch an seiner Geschwindigkeit, die anfangs 7 — 8 Fuß in der Secunde, bei den Azoren nur noch 1 Fuß in der Secunde beträgt. Durch seine Dunkelindigofärbung ist er auf Hunderte von Meilen von dem schmutzig-grünen Gewässer des Meeres für das bloße Auge zu unterscheiden, und wenn sich diese scharfe Grenze endlich verliert, so bleibt er doch noch für mehrere tausend englische Meilen durch die höhere Temperatur erkennbar.

Da die kalten Polarströme in der Regel nur als Unterströme auftreten, so sind sie nicht so leicht zu erkennen, als die warmen Strömungen. Aber die Eisberge, welche auf ihrem Rücken daherschwimmen, geben einen sicheren Führer. Eine der bedeutendsten dieser Strömungen ist die grönländische, die an den Ostküsten Grönlands herabkommt und, um die Südküste herumbiegend, sich in die Davisstraße ergießt. Hier begegnet sie einer andern kalten Strömung, die aus dem Smithsunde und der Baffinsbai herabkommt, und wird dadurch nach Süden abgelenkt. Der vereinigte Strom ergießt sich nun an der Küste von Labrador fort bis zur Newfoundlandbank und trifft hier mit dem Golfstrome zusammen. In Folge dessen gabelt er sich und sendet nun einen schmalen Zweig zwischen der amerikanischen Küste und dem Golfstrome bis über die Breite von New-York hinaus, während der andere den Golfstrom unterläuft, wie die Eisberge beweisen, die der oberflächlichen Strömung entgegen bis in seine warmen Gewässer vordringen.

Auch der stille Ocean wird von ähnlichen Strömungen durchfurcht

wie der atlantische. Hier sind es besonders zwei kalte Südpolarströmungen, welche Aufmerksamkeit verdienen. Die eine wendet sich gegen die Südküste Australiens, begegnet aber hier einer mächtigen, aus dem indischen Ocean kommenden Strömung und wird dadurch nach Osten zurückgedrängt. Die andere stößt, aus Südwesten kommend, gegen die Südspitze von Amerika und spaltet sich hier in die Cap-Hoorn-Strömung und in die peruanische, die in der Nähe der Gallopagosinseln sich in die große Aequatorialströmung verliert. Alexander von Humboldt war es, der zuerst diese kalte peruanische Strömung entdeckte, als er bei Truxillo die Temperatur des ruhigen Wassers zu 22° R. fand, während zu seinem Erstaunen der von Süden herkommende Strom unmittelbar daneben nur 8° Wärme hatte.

Für die Schifffahrt sind diese Meeresströmungen von der höchsten Bedeutung, da sie für die Seefahrer die natürlichen Straßen des Meeres bilden. Aber durch die Vermittlung der Winde erlangen sie auch für die Klimate vieler Länder Wichtigkeit. Ganz selbstverständlich muß ein Strom warmen Wassers, der auf eine Küste trifft, wesentlich zur Erhöhung der mittleren Temperatur beitragen, während ein kalter Strom abkühlend wirkt. Deshalb haben die Westküsten Europas in der That ein sehr mildes Klima im Vergleich mit den Ostküsten Nordamerikas. In Europa beträgt die mittlere Jahrestemperatur noch unter dem 50. Breitegrade 8° R., während in Amerika diese Temperatur schon unter dem 40. Breitegrade eintritt. Nain an der Küste von Labrador hat im Winter im Mittel 18° Kälte, im Sommer 7° Wärme, Aberdeen in Schottland unter gleicher Breite im Winter nur 3° Kälte, im Sommer 15° Wärme. An der norwegischen Küste pflegt der Schnee nur wenige Tage zu liegen, und in Schottland gedeihen edle Kastanien, in Irland sogar Myrthen und Camellien im Freien. Die Baumgrenze geht in Europa 10 Grad nördlicher, als in Amerika, und fast um 10 Grad weiter nach Norden wird hier Getreide gebaut. Die Erklärung aller dieser Erscheinungen findet sich leicht. Während an der Ostküste Amerikas ein kalter Strom herabläuft, dessen ungeheuere Eisberge erst bei der Begegnung mit dem Golfstrome schmelzen, findet sich die Westküste Europas durch den mächtigen Golfstrom begünstigt, abgesehen von der Wärmezufuhr, welche die aus den warmen Meeren wehenden Südwestwinde bringen. Selbst gegen die atlantischen Küsten Südamerikas ist Europa bevorzugt, obgleich ein ganz ähnlicher Kessel warmen Wassers an der Guineaküste, der noch durch den warmen [illegible] unterstützt wird, seine Wasser gegen Südamerika sendet.

Die Faröer liegen dem Nordpol 10 Grad näher, als die Falklandsinseln dem Südpol, und doch haben sie dieselbe Jahrestemperatur. Dublin liegt mit den Falklandsinseln in gleicher Breite, hat aber im Winter 1 Grad, im Sommer 4 Grad mehr Wärme.

Der kalte Strom, welcher an der Westküste Südamerikas hinläuft und noch bei den Gallopagosinseln um 10° kälter ist, als das umgebende Meer, trägt wesentlich zur Milderung der Hitze jener Küste bei. So hat Lima unter dem 16° s. Br. eine um 6 Grad geringere Temperatur als Rio Janeiro an der Ostküste, das unter dem 22° s. Br. liegt. In Chile gedeiht die Palme kaum bis zum 30. Grade, während sie in Europa noch unter dem 45. Grade fortkommt.

Aehnliche Strömungsverhältnisse sind es, welche die Klimate der nordamerikanischen Ostküste längs der Küste Nordasiens und die europäischen Klimate längs der Nordwestküste Amerikas wiederholen.

So greift das physikalische Verhalten des Wassers zur Wärme tief in das Leben der Länder und Völker ein.

Die Luftströmungen.

Wenn man sich schon beim Wasser in Betreff seiner Leitungsfähigkeit für die Wärme im gewöhnlichen Leben leicht zu falschen Ansichten verleiten läßt, so ist das bei der Luft noch viel mehr der Fall. Man empfindet es ja, wie der warme Strahl der Frühlingssonne die kalte Luft des Zimmers so behaglich durchwärmt, wie im Winter die Hitze des Ofens sich so schnell der ganzen Stubenluft mittheilt. Wenn man im Sommer zum Bade die Glieder in den kühlen Strom taucht, so glaubt man ja die zweifellose Erfahrung zu machen, daß die Sonnenstrahlen die Luft schneller und besser durchwärmen, als das Wasser, und erklärt es sich auch daraus, daß das Wasser bei kühlem Wetter seine Wärme länger behauptet, als die Luft, weil es dieselbe eben schlechter und langsamer fortleitet, gerade wie der irdene Topf seine Wärme länger erhält, als der eiserne. Nichts ist natürlicher, als daß man der Luft eine vorzüglichere Leitungsfähigkeit für die Wärme zuzuschreiben pflegt, als dem Wasser. Man vergißt indeß dabei wieder die Strömungen, welche hier mitwirken, und doch hat man Gelegenheit genug, diese selbst zu beobachten. Wenn der Frühlingssonnenstrahl durch unser Fenster bricht, sehen wir oft eine glänzende Säule wirbelnder Sonnenstäubchen aufsteigen; es sind nur die aufsteigenden erwärmten Lufttheilchen, welche diese Stäubchen tragen. Wenn wir

die Thür eines geheizten Zimmers öffnen, so strömt ein empfindlicher kalter Luftstrom am Fußboden ein, während oben ein warmer Luftstrom ausgeht, wie man aus der Ablenkung einer Lichtflamme ersehen kann, die man an der Thüröffnung auf- und niederbewegt. In den Cylindern unserer Lampen und in den Schornsteinen entsteht ebenso durch das beständige Aufsteigen der erwärmten Lufttheilchen und durch das Nachströmen kälterer der wichtige Luftzug, ohne welchen unsere Flammen und Feuer nicht fortbrennen würden. In allen diesen Fällen wird die Geschwindigkeit der Luftströmung durch den Unterschied zwischen dem Gewichte der äußeren kalten und dem der inneren warmen Luftsäule gemessen. Der Unterschied dieser Gewichte ist aber um so größer und der Zug darum um so stärker, je mehr die Temperatur der Luft im Schornsteine etwa die der äußeren Luft übertrifft und je größer die senkrechte Höhe des Schornsteines ist.

Gerade wie im Wasser, findet also auch in der Luft ein beständiger Kreislauf der Wärme statt. Die erwärmten, ausgedehnten und darum leichter gewordenen Lufttheilchen steigen auf, die kalten, schwereren sinken nieder, und nur dadurch wird die allmälige Ausgleichung der Wärme, die allmälige Durchwärmung der Luft bewirkt. In der großartigsten Weise treibt es die Natur selbst in der unsere Erde umgebenden Atmosphäre. Ueber den erhitzten Gegenden der Erdoberfläche steigen warme Luftströmungen auf, kältere Luftschichten ziehen längs des Bodens an ihre Stelle, und in diesem Kreislaufe auf- und niedersteigender Luftströmungen ruht das Geheimniß der Winde.

Die Bewegung der Luft und was damit zusammenhängt, unser Wetter, sogar die Mannigfaltigkeit unserer Klimate und der Wechsel unserer Jahreszeiten ist im Wesentlichen eine Folge der ungleichmäßigen Erwärmung der Luft, und diese Ungleichmäßigkeit der Erwärmung ist wieder eine Folge der geringen Leitungsfähigkeit der Luft. Vermöchte sich die Wärme durch die Luft so leicht und so schnell zu verbreiten, wie etwa durch Metalle, so würde in Kurzem eine völlige Ausgleichung durch die ganze Atmosphäre unserer Erde eintreten, und die glückliche Tropenzone kaum noch einen Vorzug behalten vor den nächtlichen Polargegenden. Käme aber andererseits nicht das Ausdehnungsbestreben der erwärmten Luft ihrer geringen Leitungsfähigkeit zu Hülfe, brächten nicht Strömungen die warmen Luftschichten auch an die für die Sonnenstrahlen selbst unerreichbaren Orte, so würden wir selbst unter dem Aequator den schroffen Gegensätzen des Polar- und Tropenklimas

ten, und ewiges Eis würde in demselben dunklen Thale starren,

in dem jetzt Palmen und Baumfarrn üppig wuchern. In der That gehört die unbewegte Luft zu den schlechtesten Wärmeleitern auf der Erde. Wir empfinden es schon an den Unterschieden windstiller und stürmischer Wintertage. An jenen wird uns die strengste Kälte fast behaglich, an diesen werden geringe Kältegrade uns fast unerträglich, weil jedes neue vorüberziehende Lufttheilchen einen neuen Theil unserer eigenen Körperwärme mit sich fort nimmt.

Eine der einfachsten Folgen der ungleichen Erwärmung der Luftschichten in Verbindung mit der geringeren Wärmeleitungsfähigkeit der Luft ist die Entstehung der Land- und Seewinde. Wenn nach nächtlicher Kühle die aufgehende Sonne ihre erwärmenden Strahlen über das Festland ausgießt, dann erhebt sich nach wenigen Stunden von der kühleren See her eine schwache Luftströmung dem Lande entgegen. Mit dem Steigen der Sonne wächst dieser Seewind, und gegen 2 Uhr Nachmittags erreicht er seine höchste Stärke. Das Land wird durch die Sonnenstrahlen erwärmt, und zwar schneller als die See, und die Luft steigt über ihm empor, während unten die kältere Seeluft als Seewind in die wärmere Luftschicht eindringt. Aber immer schwächer und schwächer weht der Seewind, je mehr die Sonne sich zum Untergange neigt. Endlich tritt Windstille ein, denn über Land und Meer haben die Luftschichten ihre Wärme ausgeglichen. Nun beginnt aber die nächtliche Abkühlung des Landes, und wie es schneller die Wärme aufnahm, so verliert es sie auch schneller als das Meer. Eine Luftströmung zieht zur Nachtzeit vom Lande zur See, ein Landwind, der mit dem Vorrücken der Nacht wächst und sich erst nach Sonnenaufgang legt.

In derselben Weise erklärt sich auch der Gegensatz von Berg- und Thalwinden. Aus den engen feuchten Thälern steigt alle Morgen ein kühler Luftstrom zu den Bergen auf, während am Abend von dort ein wärmerer Luftzug hernieder weht.

Gerade so strömt aber auch Jahr aus Jahr ein über die ganze Erde hin zwischen Aequator und Polen ein ewiger Luftstrom. Unter dem heißen Gürtel der Erde liegt die Geburtsstätte für Wind und Wetter. Dort in der Region der Windstillen durchglühen die senkrechten Strahlen der Sonne die Atmosphäre, und ein warmer Luftstrom steigt, von gewaltigen Mengen von Wasserdämpfen begleitet, beständig empor. In der Höhe breitet sich dieser Luftstrom nach beiden Seiten hin aus, kühlt sich bis zu einem gewissen Grade an der kälteren Luft ab und fließt endlich den Polen zu. Je weiter er sich von seinem Ursprunge

entfernt, um so mehr senkt er sich herab. Um das Gleichgewicht herzustellen, dringen aber zugleich von den Polen her kältere Luftströme am Erdboden hin gegen die verdünnten Luftregionen des Aequators vor. In den gemäßigten Zonen treffen sie nun mit den herabgesenkten Aequatorialströmen zusammen, und hier beginnt nun ihr Kampf, der unser Wetter braut. Sie fließen nicht mehr über und unter einander, sondern neben einander, und wechselnd wälzen sie sich über die Länder hin und her, die verschiedensten Klimate durch einander mischend. Die Stelle, an welcher die Begegnung der beiden Luftströme geschieht, ist indeß nicht immer die gleiche; sie ändert sich mit dem Orte, von welchem die erwärmte Luft aufstieg. Im Winter, wo die Sonne in südlichen Zeichen verweilt, liegt der Ursprung des aufsteigenden Stromes jenseits des Aequators, und sein Herabsinken findet für die nördliche Erdhälfte bereits in Afrika statt. Im Frühling und Herbst gelangt der Aequatorialstrom in Südeuropa zum Boden; im Sommer übersteigt er die Alpen und kämpft auf norddeutschem Boden seinen Streit mit dem Gegner vom Pole aus.

Diese beiden entgegengesetzten großen Luftströmungen, die man gewöhnlich als obere und untere Passate bezeichnet, können natürlich nur ganz im Allgemeinen nach Nord und Süd gerichtet sein, da sie nothwendig durch die Umdrehung der Erde von ihrem ursprünglichen Wege abgelenkt werden müssen. Nur in seinem Ursprunge ist der Aequatoriolstrom auf der Nordhälfte der Erde ein reiner Südwind, der Polarstrom ein reiner Nordwird; in seinem weiteren Verlaufe wird jener zu Südwest-, dieser zu Nordostwinden. Daraus erklärt sich das zuerst von Dove aufgestellte Drehungsgesetz der Winde, wonach der Wind sich vorzugsweise von West durch Nord nach Ost und umgekehrt von Ost durch Süd nach West dreht. Entsteht nämlich an irgend einem Orte der nördlichen Erdhälfte ein Nordwind, etwa in Folge einer durch Wärme bewirkten localen Auflockerung der Luft, die ein Zuströmen kalter Nordluft veranlaßt, so wird sich die Windfahne anfangs genau von Norden nach Süden stellen. Dauert aber die Ursache der Luftbewegung fort, so muß die Luft immer höherer Breiten an der Bewegung theilnehmen. Diese weiter von Norden herkommende Luft besitzt aber eine geringere Umdrehungsgeschwindigkeit und bleibt darum immer mehr zurück hinter der Bewegung der Orte, zu welchen sie gelangt, die Windfahne geht also immer mehr nach Osten herum. Ist die Ursache des Nordwindes eine anhaltende, d. h. rückt sein Anfangspunkt stetig nach Norden hinauf, und wird sein Vordring

nach Süden nicht gehindert, so muß sich die Windfahne allmälig durch Nordosten ganz nach Osten drehen. Ist der Nordwind endlich in Ostwind übergegangen, so verliert er allmälig in Folge der Stauung am Boden seine eigenthümliche Bewegung und nimmt zuletzt die Umdrehungsgeschwindigkeit der Erde in demjenigen Breitegrade an, in welchem er sich befindet, d. h. es tritt Windstille ein. Wiederholt sich aber die Ursache, welche vorher den Nordwind erzeugte, so springt der Ostwind durch Windstille in einen Nordwind zurück, der allmälig wieder in Ostwind übergeht. Ganz ähnlich sind die Erscheinungen bei der Entwicklung des Südwindes. In seinem Fortgange wird er, durch weiter vom Süden herkommende Ströme nach Westen abgelenkt, endlich zum reinen Westwinde und durch den Widerstand am Boden zur Windstille. Bei fortdauernder Ursache springt der Westwind ebenso durch Windstille in einen Südwind zurück.

Weit verwickelter sind die Erscheinungen, welche eintreten, wenn die beiden Hauptströme, der obere und untere Passat, einander begegnen und in Kampf mit einander gerathen. Wenn der bereits nach Westen abgelenkte Aequatorialstrom durch einen Polarstrom verdrängt werden soll, so muß selbstverständlich zunächst eine mittlere Windrichtung von Nordwest eintreten, die erst mit dem entschiedenen Siege des Polarstroms zur nördlichen wird. Ebenso muß der Wind von Osten durch Südost nach Süden übergehen, wenn ein Polarstrom von einem Aequatorialstrome verdrängt wird. Beide Vorgänge aber werden von sehr verschiedenen Erscheinungen begleitet sein. Der Polarstrom führt die kältere und darum schwerere und dichtere Luft höherer Breiten in niedere, der Aequatorialstrom die wärmere, leichtere und dünnere niederer Breiten in höhere. Wegen seiner Schwere dringt der beginnende Polarstrom sofort von unten in den Aequatorialstrom ein, noch ehe derselbe nach Westen abgelenkt ist, und selbst wenn er ihn nicht zu verdrängen vermag. Die Windfahne zeigt daher durch Schwankungen nach Norden schon zwischen Südwest und West die stoßweisen Wirkungen des Polarstromes an. Ganz anders verhält sich der Aequatorialstrom. Bei seiner geringeren Schwere vermag er in den Polarstrom erst einzudringen, vollends ihn zu verdrängen, wenn er weit herabgekommen, weit nach Westen abgelenkt ist, sich also über weite Räume verbreitet hat. Auch erfolgt dieses Eindringen stets von oben nach unten, so daß Südost- und Südwinde längst in den oberen Luftschichten wehen können, ehe die Windfahne unten etwas davon anzeigt. Erst wenn der Aequatorialstrom völlig durchgedrungen ist, regt

sich die Windfahne, und gewöhnlich geht sie dann sehr schnell von Ost nach Süd über. Daher kommt es, daß anscheinend unsere Südostwinde so geringe Dauer haben, und daß die Drehung des Windes anscheinend nirgends stetiger und regelmäßiger ist, als zwischen Ost und Süd.

Unser Wetter wird also keineswegs in der nächsten Umgebung gebraut, sondern entspringt meist in weiter Ferne. Denn die in den Winden in Bewegung gesetzte Luft behauptet einen wesentlichen Theil der Eigenschaften, die sie am Ursprungsorte empfangen. Nur der Erdboden vermag allmälig verändernd auf sie einzuwirken, aber diese Einwirkung pflanzt sich sehr langsam durch die ganze Luftmasse fort. Jede Luftströmung, die über unsere Häupter dahin fährt, versetzt unsere heimatliche Atmosphäre in ähnliche Zustände, wie sie am fernen Orte waren, wo der Luftstrom entstand. Ohne uns von der Stelle zu rühren, nehmen wir daher durch die Winde Theil an dem Leben, an den Zuständen und Verhältnissen des Aequators wie des Poles. So lange wir uns im Aequatorialstrome befinden, sind wir gleichsam in niedere Breiten versetzt, oder haben Sommer; so lange wir im Polarstrome athmen, sind wir in höheren Breiten, haben Winter. Jede vollständige Winddrehung ist gleichsam ein Jahr im Kleinen für uns mit allen Wechseln der Jahreszeiten. An diesem fernen Ursprunge unseres Wetters scheitern aber auch alle Wetterprophezeihungen. Man müßte Kenntniß von dem Wetter ungeheuerer Erdräume haben, um auf das Wetter eines einzigen Ortes nur wenige Tage im Voraus mit Sicherheit schließen zu können.

Die ursprünglichen Eigenschaften, welche die Winde aus ihrer fernen Heimat mit sich führen, sind es zunächst, von denen die Art des Wetters abhängt, welches sie uns bringen. Die Polarströme sind im Allgemeinen kalt, schwer und trocken, die Aequatorialströme warm, leicht und feucht. Aus diesen Eigenschaften lassen sich die meisten Witterungsveränderungen beim Windwechsel erklären. Man bezeichnet gewöhnlich Nordost und Nordwest, also die Punkte, in welchen das völlige Durchdringen, der entschiedene Sieg des Polar- oder Aequatorialstromes in ihrem gegenseitigen Kampfe stattfindet, als die Pole der Windrose. Diese Pole sind es nun auch, auf welche die Extreme der Wärme fallen. Das Thermometer steigt auf der Ostseite, fällt auf der Westseite der Windrose. Zu dieser Luftwärme steht aber die Dichtigkeit oder Schwere der Luft im Gegensatze. Steht das Thermometer darum hoch, so muß das Barometer in der Regel tief stehen, und umgekehrt. Der Nordost, als durchgedrungener Polarstrom, führt die kälteste und darum

dichteste Luft über uns, der Südwest, als siegreicher Aequatorialstrom, die wärmste und deshalb leckerste. Auf der Westseite der Windrose steigt also, auf der Ostseite sinkt das Barometer. Endlich hängt mit der Wärme der Luft auch ihre Fähigkeit zusammen, Wasserdampf aufzunehmen. Daher sind die Aequatorialströme die feuchtesten, die Polarströme die trockensten. Mischen sich dagegen warme und kalte Winde, so wird die wärmere Luft durch den erkaltenden Einfluß der anderen genöthigt, ihre Feuchtigkeit frei zu geben, und es erfolgen Niederschläge, es bilden sich Nebel, Wolken, Regen, Schnee, Hagel ꝛc. Die Umstände, unter welchen diese Niederschläge eintreten, verdienen indeß besonderes Interesse.

Wenn der Polarstrom im Nordostwinde zur vollen Entwicklung gekommen ist, so ist die Atmosphäre dunstfrei, der Himmel klar und blau. Weicht er allmälig dem Aequatorialstrome, so lagert sich anfangs die dünne Luft des letzteren über der dichten des ersteren. Ehe noch der Wind an der Erdoberfläche eine südliche Richtung angenommen hat, hat schon hoch oben die Wirkung des eingetretenen Aequatorialstromes begonnen; es ist ein Niederschlag erfolgt, der sich zunächst als eine feine Trübung zeigt, die dem Himmel eine weißliche Färbung ertheilt und zuletzt in Federwolken übergeht, die sich in langgezogenen Streifen von Süden aus verbreiten. Bald verdichtet sich der Schleier mehr und mehr, Mond und Sonne vermögen nur matt und von Höfen umgeben durchzuscheinen, und die Federwolken sinken allmälig tiefer und verwandeln sich in Schichtwolken, die endlich den ganzen Himmel bedecken. Oft schon vor der Drehung der Windfahne fällt der Regen.

Während die Windfahne von Südost zeigt, kann das Wetter im Allgemeinen als veränderlich gelten. Mit dem Einsetzen des Südwindes beginnt ein anhaltend schlechtes Wetter. Nur kurz bevor die Windfahne nach längerem Schwanken auf die Westseite überspringt, tritt noch einmal eine höchst charakteristische kurze Aufhellung ein. Der Regen hört auf, aber die Atmosphäre bleibt dunstig, und bald rücken dunkle, niedrig ziehende Wolken mit verwaschenen, zerzausten Rändern vom südlichen Horizonte herauf, die den Himmel bei Tage in ein düsteres Grau, bei Nacht in völlige Finsterniß hüllen. Ein feiner Landregen folgt, der ununterbrochen und über ausgedehnte Flächen sich ergießt. Jede Fernsicht ist unmöglich und der Boden tief durchweicht. Das ist unser bekanntes „schlechtes Wetter", das in Folge der allmäligen Erkaltung entsteht, welche die feuchte Luft des Aequatorialstromes beim Vordringen über den kälteren Boden höherer Breiten erleidet.

Stoßweise eintretende Nordwestwinde verkünden das Hereinbre-

chen des Polarstroms. Die allgemeine Trübung verdichtet sich allmälig zu einzelnen Wolkenhaufen oder geschichteten Haufwolken. Mit kurzen Unterbrechungen fallen stärkere Regen. Die Niederschläge, welche bei der Verdrängung des herrschenden Aequatorialstromes durch den Polarstrom in Folge der Mischung wärmerer und kälterer Luftmassen entstehen, sind aber ganz anderer Art, als wir sie beim entgegengesetzten Kampfe auf der Ostseite der Windrose kennen lernten. Die dichtere Luft des Polarstromes dringt von unten her in den Aequatorialstrom ein, und damit rückt auch die Bildungsstätte der Niederschläge allmälig von unten nach oben. Die Mischung der ungleich warmen Luftschichten geschieht ferner sehr rasch, weil die dichtere Luft des unten eintretenden Polarstromes eine viel größere Spannung hat, als die dünnere des Aequatorialstromes. Die Niederschläge treten daher sehr schnell ein. Die Wolken ballen sich zu dichten Massen und steigen mit den eintretenden nördlichen Winden am westlichen Horizonte herauf. Endlich springt der Wind in diesem Theile der Windrose, zwischen West und Nord, häufiger als in irgend einem andern zurück, und daraus erklärt sich der beständige Wechsel von Wolkenbildung und Wiederauflösung, von Regen und Sonnenschein, wie er vorzugsweise den von Nordwestwinden beherrschten Zeiten unseres Frühlings eigenthümlich ist.

So lange der Wind aus dieser Gegend der Windrose zwischen West und Nord weht, ist das Wetter veränderlich. Je mehr aber die Windrichtung eine nördliche wird, desto mehr verdichten sich die Wolken; sie erheben sich endlich und lassen stellenweise den Himmel durchblicken. Mit dem Siege des Polarstromes, mit dem Nordwinde, beginnt die heitere Zeit, das anhaltend „gute Wetter". Die Regen hören auf, die Wolken verschwinden in der Höhe, und der Himmel heitert sich auf. Das Barometer erreicht mit Nordost seinen höchsten Standpunkt und beginnt erst wieder zu sinken, wenn sich der Aequatorialstrom in der Höhe einstellt.

Das ist in allgemeinen Umrissen der Verlauf der Witterung während einer vollständigen Winddrehung. Es erklärt sich daraus auch der eigenthümliche Charakter unseres Frühlingswetters. Die Herrschaft der Nordwestwinde bedingt seine Veränderlichkeit, die häufige Unterbrechung durch Nordostwinde führt die schönen, sonnigen und überaus trockenen Frühlingstage herbei. Manche Erscheinungen unseres im Ganzen ziemlich unfreundlichen norddeutschen Frühlings, namentlich die häufigen Rückfälle der Kälte und die ungewöhnliche
ckenheit bei hohem Barometerstande und dauernden Ostn

indeß ihren Ursprung in ganz localen Ursachen, besonders in der Vertheilung des Festen und Flüssigen auf der nördlichen Erdhälfte.

Das Verhältniß fester und flüssiger Grundflächen zur Atmosphäre und deren Erwärmung ist zum Theil ein geradezu entgegengesetztes. Bei einer festen Grundfläche wird die gesammte auffallende Wärmemenge zur Temperaturerhöhung derselben verwandt, bei einer flüssigen dagegen geht ein großer Theil derselben in der Verdunstung verloren. Kühlt sich aber die Luft über dem Wasser ab, so sinken die an der Oberfläche erkalteten Wassertheilchen in die Tiefe, und an ihre Stelle treten wärmere, aus der Tiefe aufsteigende, so daß auch die Kälte der darauf ruhenden Luftschicht vermindert wird. Das Wasser stumpft also beide Extreme, sowohl das der Wärme, als das der Kälte, ab. In den großen Oceanen entstehen dadurch die Meeresströmungen, die das in die Tiefe gesunkene Wasser nach wärmeren Gegenden abführen, während oben Ströme wärmeren Wassers den kälteren Regionen zufließen. Anders ist es in einem geschlossenen Becken, wie die Ostsee, wo der Abfluß nach Süden versperrt ist, und das zugleich weit genug nach Norden reicht, um dort im Winter sich großentheils mit Eis zu bedecken. Hier behält der nördliche Theil im Frühjahre lange eine niedrige Temperatur, da das Schmelzen des Eises, wie wir später sehen werden, eine große Wärmemenge erfordert, welche für die Empfindung verloren geht. Das nach Süden hin in der Tiefe abfließende Wasser kühlt daher die Südküsten ab, bis endlich das Eis im ganzen Becken verschwunden ist, und die Sonnenwärme nun allein zur Temperaturerhöhung des Wassers verwandt werden kann. Es ist also der erkältende Einfluß der Ostsee, der sich im Frühlinge an ihren südlichen Küsten geltend macht und dadurch die Temperatur des ganzen Norddeutschlands bedeutend herabdrückt.

Anders verhält es sich mit den unserer Vegetation oft so verderblich werdenden Rückfällen der Kälte. Der Gegensatz zwischen einer festen und flüssigen Grundfläche der Atmosphäre tritt nämlich am entschiedensten unter dem directen Einflusse der Sonne hervor. Wenn die Sonne sich im Winter über der südlichen Erdhälfte befindet, so muß die Wirkung ihrer mehr oder minder senkrechten Strahlen über den ausgedehnten, von keiner Ländermasse unterbrochenen Gewässern gleichartiger sein, als in unserem Sommer, wenn sich die Sonne über der nördlichen Erdhälfte befindet, wo Festes und Flüssiges in buntem Wechsel neben einander liegen. So werden in Hindostan und Nord- [illegible] Temperaturen [illegible], wie an keinem andern Orte der Erde.

Die Kraft des Nordostwindes wird vollständig gebrochen, und über der compacten Ländermasse Asiens bildet sich ein aufsteigender Strom, der, begleitet von einer starken Verminderung des atmosphärischen Druckes, als Südwestwind bis an den Fuß des Himalaya hinaufzieht und auf die kältere Luft der benachbarten Meere der Art wirkt, daß die des atlantischen Oceans sich erkältend über Europa verbreitet, während Ostwinde an den Küsten Japans und Nordasiens, Nordwinde an den Ufern des Eismeeres hervortreten. Diese gewaltigen Abänderungen, welche die unsymmetrische Vertheilung des Festen und Flüssigen hervorruft, bedingen jenes Heraustreten aus der natürlichen Einfachheit der Verhältnisse, welches Dove als das „fieberhafte Erwachen" unseres Frühlings bezeichnet. Die Witterung kämpft lange, ehe sie sich entscheidet, ob sie in südlicheren Gegenden höhere Temperaturen suchen oder dem neuen Anziehungspunkte folgen solle, der sich in Centralasien für die benachbarten Luftmassen bildet. Erst im Juni pflegen die Luftmassen des atlantischen Oceans die durch Auflockerung der Atmosphäre über Asien gebildete Lücke auszufüllen, und dann beginnt mit Nordwestwinden unsere Regenzeit. Zugleich aber haben sich in Folge der schnell zunehmenden Wärme die Eismassen des sibirischen Meeres in Bewegung gesetzt und an den grönländischen Küsten mit den aus der Baffinsbai herabtreibenden Eismassen vereinigt. Der Kältepol, der im Winter für Europa im Nordost der Windrose liegt, wird dadurch nach Nordwest verschoben, und jedes Umschlagen des Windes in diese Richtung verscheucht plötzlich die Frühlingswärme und verbreitet eine so eisige Luft, daß selbst die hochstehende Sonne ihre wärmende Kraft verloren zu haben scheint.

Natürlich müssen solche Rückfälle der Kälte, die oft in einer Nacht die ganze Hoffnung des Landmannes vernichten, die allgemeine Aufmerksamkeit erregen. Wenn man aber diese Rückfälle an bestimmte Tage, wie an die bekannten drei „kalten Tage" des Mai, knüpft, oder wenn man sie auf kosmische Ursachen, auf Sternschnuppen oder Asteroiden, die vor der Sonne vorüberziehen, zurückführt, so ist man im Unrechte. Die Erscheinung der kalten Tage beschränkt sich auf das nördliche Deutschland, Holland, Belgien, das südliche England und das nördliche Frankreich und ist lediglich irdischen Ursprungs.

So beruht unser Wetter in seinen Hauptzügen auf der geringen Leitungsfähigkeit der Luft für die Wärme und der daraus folgenden ungleichförmigen Erwärmung derselben. Die ganze Luftmasse wird dadurch in eine beständige Bewegung versetzt; es bilden sich Strömun-

gen, welche die Eigenschaften der einen Gegend, ihre Wärme oder Kälte, ihre Feuchtigkeit oder Trockenheit, in eine andere, weit entfernte Gegend übertragen. Andere Erscheinungen des Wetters, die gleichfalls zu diesen Strömungen und ihrem Kampfe in Beziehung stehen, die aber zugleich noch mit Vorgängen anderer Art, namentlich elektrischen und den mit dem Wechsel der Aggregatzustände verbundenen eigenthümlichen Wärmeerscheinungen, in Verbindung gebracht werden müssen, werden bei einer anderen Gelegenheit erörtert werden.

Daß die Luft ein schlechter Wärmeleiter ist, dafür legt das Wetter genügend Zeugniß ab. Aber der schlechteste Wärmeleiter ist die ruhende Luft, und sie benutzen wir darum vorzugsweise, um uns gegen die Unbilden des Wetters zu schützen. Die Kleider und Betten, mit denen wir uns umgeben, um große Wärmeverluste in der Winterkälte von unserem Körper abzuhalten, sind allerdings ohnehin schon aus schlechtleitenden Stoffen bereitet, gerade wie die Natur den thierischen Leib in Wolle, Pelz und Federn zum Schutze gegen die räuberischen Eingriffe der Atmosphäre hüllte. Aber wir wissen, daß weite Mäntel ungleich besser schützen, als enganschließende Kleider, und der Luxus versieht unsere Wohnungen mit Doppelfenstern und Doppelthüren, weil die Erfahrung gelehrt hat, daß eine abgesperrte ruhige Luftschicht das Entweichen der Wärme verhindert. Auch beim winterlichen Bedecken unserer Bäume, Brunnen und Kelleröffnungen mit Stroh wirkt die in den Zwischenräumen eingeschlossene Luft wesentlich mit zum Schutze gegen den Frost, und der Schutz, den der lockere Schnee den Saaten gewährt, beruht jedenfalls zur geringeren Hälfte auf der schlechten Leitungsfähigkeit des erstarrten Wassers, zur größeren auf der noch schlechteren Leitungsfähigkeit der eingeschlossenen Luft.

Die Wärmestrahlung.

Daß die Wärmeleitung, in welcher die Wärme bei unmittelbarer Berührung von Körper zu Körper überströmt, nicht der einzige Weg ist, auf welchem sich die Wärme fortpflanzt, davon kann schon das Gefühl der Kühle überzeugen, das man empfindet, wenn man in den Schatten eines Waldes tritt, oder wenn eine Wolke die Sonne auf einige Minuten verdunkelt. Nichts, als das zarte halbdurchsichtige Laub der Bäume oder der leichte Wolkennebel hindert die Sonnengluth, in diesen Raum zu dringen. Es muß also etwas den Lichtstrahlen Aehnliches sein, was von der Sonne erwärmend niederströmt, und was

gleich jenen durch Körper aufgehalten werden kann. Noch deutlicher kann man diese Beobachtung an kleinen irdischen Wärmequellen machen. Wenn man sich einem eben angezündeten Kaminfeuer nähert, so muß man durch einen Schirm oder die vorgehaltene Hand das Gesicht vor der unangenehmen Hitze schützen, obgleich im Uebrigen das Zimmer noch völlig kühl geblieben ist. Ein Thermometer würde vielleicht in der unmittelbaren Einwirkung des Feuers über 30 Grade zeigen, während es hinter einem Schirme an derselben Stelle nur 10 Grade zeigt. Von jeder Wärmequelle muß daher unmittelbar eine Bewegung ausgehen, die auf ihrem geraden Wege von den meisten Körpern aufgehalten wird, und diese Bewegung muß eine weit schnellere, als die der gewöhnlichen Mittheilung durch Leitung, ja sogar eine fast augenblickliche sein, da sie in wenigen Minuten von der aufgehenden Sonne den so viele Millionen Meilen weiten Raum zur Erde durchläuft. Diese unmittelbare Wirkung der Wärme in die Ferne bezeichnet man als Wärmestrahlung, und die geradlinigen Wege, auf denen diese Fortpflanzung stattfindet, Wärmestrahlen.

Diese Wärmestrahlung, die jeden Gedanken an ein Ausströmen stofflicher Theilchen zurückweist, läßt sich in keiner andern Weise erklären, als durch jene Bewegung, durch welche die Welle, die der fallende Stein erregt, zum Ufer, der Schall der schwingenden Glocke zum Ohre, das Licht der Sonne durch die Räume des Weltalls zum Auge gelangt. Der außerordentlich schnelle Flug der Wärme, der vielleicht dem des Lichtes gleichkommt, kann nur auf Schwingungen beruhen, die sich von Theilchen zu Theilchen fortpflanzen, gleich denen der Wasserwelle, des Schalles, des Lichtes. Die Sonne sendet also nicht blos Lichtstrahlen, sondern auch Wärmestrahlen aus, und diese folgen denselben Gesetzen, wie jene, sind nur in ihrer Wirkung von jenen verschieden.

Die Aehnlichkeit zwischen den Erscheinungen des Lichtes und der Wärme ist in der That außerordentlich groß. Schon für den Laien verknüpfen sich beide so innig, daß er sie kaum zu scheiden vermag. Seit aber neuere Naturforscher, wie Leslie, Melloni, Knoblauch u. A., die ganze Feinheit und den Scharfsinn der Wissenschaft auf die Beobachtung der Wärmeerscheinungen verwendet haben, ist diese Uebereinstimmung mit dem Lichte auch für die Wissenschaft zu einer solchen Gewißheit erhoben worden, daß Niemand mehr daran zu zweifeln vermag.

Die Wärme wird, wie das Licht, zurückgeworfen, gebrochen, gebeugt. Die Wärmewellen strömen, wie die Lichtwellen, von Körper

zu Körper, werden von den Körpern gehemmt oder durchgelassen, und ihre Schwingungen werden bald mächtigere, bald leisere, wie die Wellen der See sich bald zu Bergen aufthürmen, bald wieder ebenen und glätten.

Schon vor zwei Jahrtausenden benutzte man die Zurückwerfung der Wärmestrahlen, ohne daß man ihr Wesen erkannte. Man besaß bereits Brennspiegel und wußte also, daß parallele Wärmestrahlen, welche in der Richtung der Axe auf einen Hohlspiegel fallen, sich in einem einzigen Punkte vereinigen, der eben von der hohen Temperatur, welche durch die Vereinigung der Sonnenstrahlen hier erreicht werden kann, den Namen Brennpunkt erhielt. Schon von Archimedes erzählt ja die Geschichte, freilich in etwas sagenhafter Weise, daß er mit Hülfe metallener Brennspiegel die Schiffe der Syracus belägernden Römer angezündet habe. Ebenso berichtet Plutarch von den Vestalinnen Roms, daß sie das heilige Feuer in ihrem Tempel durch hohle metallene Schalen, die sie der Sonne entgegenhielten, entzündet hätten, da sie es, wenn es erloschen war, nur an dem reinsten Feuer, d. h. an der Sonne, entzünden durften. Heutigen Tages verbrennt man Diamanten im Brennpunkte solcher Spiegel. Für die Zurückwerfung der Wärme wie des Lichtes gelten also dieselben Gesetze. Auch für die Wärme giebt es Spiegel, und auch der auffallende Wärmestrahl wird unter demselben Winkel zurückgeworfen, unter welchem er auffiel.

Alle Körper strahlen unablässig, auch bei der niedrigsten Temperatur, Wärme aus, die von andern Körpern theils zurückgestrahlt, theils, wie wir sehen werden, aufgenommen und verschluckt wird. Selbst ein Stück Eis im Brennpunkte eines Brennspiegels bringt ein Thermometer im Brennpunkte eines andern gegenüberstehenden Brennspiegels zum Sinken, nicht etwa, weil hier ein besonderer Kältestoff thätig wäre, wie man eine Zeit lang meinte, sondern weil das Thermometer eine größere Wärmemenge ausstrahlt, als es vom Eise empfängt, weil also das Thermometer Wärme verliert und das Eis Wärme gewinnt, wie das allmälige Schmelzen des Eises beweist. Wir kümmern uns gewöhnlich nur um die Wärme, welche unser Ofen, auch nachdem längst das Feuer in ihm erloschen ist, in das Zimmer ausstrahlt, achten aber nicht darauf, daß an dieser Ausstrahlung auch alle Gegenstände im Zimmer theilnehmen, bis eine völlige Ausgleichung ihrer Temperatur eingetreten ist. Auch in der Natur im Großen findet eine solche allgemeine Wärmeausstrahlung statt. Es bedarf nicht einmal eines Thermometers im Brennpunkte eines Hohlspiegels,

um uns durch sein Sinken zu überzeugen, daß die Erde zur Nachtzeit mehr Wärme gegen den heiteren Himmel ausstrahlt, als die strahlende Wärme der Atmosphäre ersetzen kann. Schon das Gefühl belehrt uns, daß heitere Nächte kühler sind, als trübe, in welchen die Wolken die von der Erde ausgestrahlte Wärme zur Erde zurücksenden. Den sichtlichsten Beweis aber liefert die Erscheinung des Thaues und Reifes. In einer heiteren, windstillen Nacht kühlt die Wärmestrahlung des Bodens die Luft ab, und in Folge dieser Abkühlung schlägt sich der Wasserdunst der Luft als Thau nieder. An Frühlings- und Herbstmorgen sehen wir dann diesen Thau, zu Reif gefroren, die Wege und Felder bedecken. Aber dieser Reif findet sich nicht überall. Unter Dächern und Schuppen und Wagen liegt er nicht, und nur einzelne Ritzen in den schützenden Brettern sind deutlich durch den Reif auch am Boden abgezeichnet. Die Rückstrahlung von den Dächern und Brettern hat hier die Abkühlung des Bodens verhindert. Am reichsten sieht man den Reif in den Thälern, und hier besonders im dichten Grase. Von den Bergen senken sich nämlich die erkalteten schwereren Luftschichten in die Thäler herab, während wärmere dort an ihre Stelle treten. Ebenso sinkt die Luft von den Spitzen der Gräser zu den dichten Büscheln am Boden nieder, erkältet sich dort noch mehr und setzt nun ihre Feuchtigkeit vollends an die Gräser ab. Am Boden erwärmt sich zwar die Luft wieder, weil die unteren Theile geschützt sind, und nimmt darum Bodenfeuchtigkeit auf; aber bald muß sie auch diese wieder abgeben. Dieser stete Wechsel begünstigt hier ganz besonders die Thau- und Reifbildung.

In der Regel sieht man auf Steinen, auf dem nackten Erdboden, auf den eisernen Beschlägen und Nägeln von Brücken und Dächern keinen Reif niedergeschlagen. Allerdings strahlen diese ebenso gut Wärme aus, wie Holz und Gräser. Aber es besteht eine große Ungleichheit in dem Wärmestrahlungsvermögen der Körper. Die Menge der Wärme, welche ein Körper ausstrahlt, ist nämlich abhängig von seiner Dichtigkeit und seiner Oberflächenbeschaffenheit. Dichte Körper strahlen geringer Wärme aus, als minder dichte, Metalle am wenigsten, Glas, Kohle, Sand am meisten. Gegossene Metallplatten strahlen mehr Wärme aus, als gehämmerte oder gewalzte. Schon eine Ritzung der Oberfläche erhöht das Strahlungsvermögen der Metalle, weil es minder dichte Stellen des Innern zum Vorschein bringt. Rauhe, berußte Flächen namentlich zeigen ein weit größeres Strahlungsvermögen, als glatte, polirte. Darum müssen Leitungsröhren

für heiße Dämpfe oder warmes Wasser aus glatten, dichten Metallen angefertigt werden, Oefen aber, die ihre Wärme in das Zimmer ausstrahlen sollen, aus minder dichten oder aus rauheren Stoffen, aus thönernen Kacheln oder Gußeisenplatten, die rauhe, mit erhabenen Zierrathen bedeckte Oberflächen besitzen.

Die von dem einen Körper ausgehenden Wärmestrahlen werden zum Theil von den andern Körpern zurückgestrahlt. Jeder hat das empfunden, wenn er an einer sonnenbeschienenen Mauer oder Felswand vorüberging, und selbst auf der spiegelnden Wasserfläche sagt es das Gefühl, daß dieser flüssige Spiegel nicht blos das Bild, sondern auch das Feuer der Sonne spiegelt. Aber diese Rückstrahlung ist durchaus nicht eine vollkommene. Ein größerer Theil der empfangenen Wärme wird von den meisten Körpern verschluckt (absorbirt) und zu ihrer eigenen Erwärmung verwandt; nur der kleinere Theil strahlt meist von den Körpern zurück. Dieses Rückstrahlungsvermögen steht wieder mit der Dichtigkeit und Oberflächenbeschaffenheit der Körper im Zusammenhange, bildet aber gerade den Gegensatz zu dem Ausstrahlungsvermögen. Ein polirter Spiegel wird kaum erwärmt, weil er alle empfangene Wärme zurückgiebt; ein mit Ruß geschwärzter Spiegel wird heiß, ohne Wärme zurückzustrahlen. Rauhe und nichtmetallische Flächen strahlen mehr Wärme aus, werfen aber weniger Wärme zurück, als glatte und metallische. So erklärt es sich, daß im geheizten Zimmer, trotz aller Verschiedenheit der Oberflächen, alle Gegenstände allmälig eine gleiche Temperatur annehmen, da die Körper, welche die meiste Wärme ausstrahlen und verlieren, auch von den Wärmestrahlen, die ihnen die Umgebung zusendet, die meisten aufnehmen.

Daß aber nicht alle Wärme von den Flächen der Körper zurückgeworfen oder in ihrem Innern festgehalten wird, lehrt uns schon das behagliche Gefühl, mit welchem der Frühlingssonnenstrahl durch die Fensterscheiben hindurch unsern Körper durchströmt. Die Fensterscheiben vermögen die Wärme nicht so zurück zu halten, wie es die Jalousien oder Rouleaux thun, die uns im Sommer gegen die Sonnengluth schützen, indem sie zwar selbst heiß werden, aber über sich hinaus fast so wenig Wärme als Licht gelangen lassen. Die Wärme durchstrahlt also die Körper wie das Licht, und es giebt ebenso gut durchwärmige oder diathermane und undurchwärmige oder athermane Körper, als es durchsichtige und undurchsichtige giebt. Durchwärmige Körper sind solche, welche für die Wärme gleichsam ihre Gegenwart ebenso verleugnen, wie die durchsichtigen für das

Licht, die also für das Thermometer gerade so unbemerkt bleiben müssen, wie die durchsichtigen für das Auge.

Auf den ersten Blick scheint es, als ob die Durchwärmigkeit der Körper in sehr naher Beziehung zu ihrer Durchsichtigkeit stehe. Glas, Wasser, Eis, alle sehr durchsichtige Körper, scheinen auch für die Wärmestrahlen sehr durchlässig zu sein. Eine genauere Beobachtung lehrt aber, daß man sich hier sehr leicht täuscht. Ein Körper kann fast ganz undurchsichtig sein, wie schwarzes Glas oder Rauchtopas, und dennoch den Wärmestrahlen einen leichten Durchgang gestatten. Ein Körper kann andererseits höchst durchsichtig sein, wie ein dünnes Alaunplättchen, und doch für die Wärmestrahlen einer Lampe sich fast undurchdringlich erweisen. Was für die Lichtstrahlen das Glas, das ist nach den neuen Beobachtungen für die Wärmestrahlen das Steinsalz. Uneigennützig läßt es sich von der Wärme durchstrahlen und verwendet nichts bei ihrem Durchgange für sich, sondern läßt sie in voller, ungeschwächter Kraft auf das Thermometer überströmen.

Das Steinsalz ist sogar ein weit vollkommenerer Körper hinsichtlich seiner Durchlässigkeit gegen die Wärme, als das durchsichtigste Glas es gegen das Licht ist. Es läßt die Wärmestrahlen mit weit geringerem Verluste hindurchgehen, als irgend ein Körper das Licht, da das Licht wenigstens von dickeren Körpern immer in größerem Maße verschluckt wird, als von dünnen, und das klarste Glas durch entsprechende Dicke völlig undurchsichtig gemacht werden kann. Steinsalzplatten, mögen sie dick oder dünn sein, lassen stets von 1000 Wärmestrahlen 923 hindurch, und veranlassen keinen anderen Verlust, als den von 77 Strahlen, welche sie an ihren Flächen zurückwerfen. Glasplatten werfen zwar auch nur 77 Wärmestrahlen zurück, verschlucken aber 693, so daß also nur 230 Strahlen ungehindert das Glas durchdringen. Die Wirkung dieses Durchstrahlungsvermögens ist natürlich bei der Wärme eine ähnliche, wie beim Lichte. Durchwärmige Körper sind ebenso wenig geeignet zum Auffangen von Wärmestrahlen, als durchsichtige zur Erzeugung von Spiegelbildern. Weingeist in einem Glase wird durch den stärksten Brennspiegel nicht entzündet, wohl aber, wenn man das Glas mit Papier oder Stanniol umgiebt.

Unter den Erscheinungen der Wärmedurchstrahlung giebt es indes eine höchst befremdende, die auch der oberflächlichen Beobachtung

Die Wärme, welche mit den Sonnenstrahlen unser Zimmer dringt, scheint es nämlich

nicht ebenso leicht durch die Fenster wieder zu verlassen; sie ertheilt vielmehr unserem Zimmer eine Wärme, die behaglich gegen die äußere Temperatur absticht. Noch weniger scheint die Wärme des Ofens durch die Fenster hinauszudringen, sonst würden unsere Fensterscheiben, so freundlich sie das Sonnenlicht einlassen, doch sehr unfreundliche Räuber an unserer winterlichen Behaglichkeit werden. Die kleinste Oeffnung an den Fenstern aber, der geringste Mangel in ihrem Verschlusse macht uns doch sehr empfindlich das Entweichen der Wärme bemerklich. Es scheint also ein Widerspruch darin zu liegen, daß dieselben Fenster die Wärmestrahlen wohl ein-, aber nicht wieder hinauslassen sollen.

Schon vor mehr als 100 Jahren entdeckte Mariotte, daß es in der That verschiedene Arten strahlender Wärme giebt; daß die Wärme, welche die Sonnenstrahlen begleitet, alle durchsichtigen Mittel ebenso leicht als das Licht durchströmt, während die von einem stark erhitzten, aber noch dunkelen Körper ausgestrahlte Wärme, oder die Wärmestrahlen, welche die leuchtenden Strahlen eines mäßig glühenden Körpers begleiten, bei ihrem Durchgange durch die durchsichtigste Glasplatte fast vollständig aufgehalten werden. Längst hatte man in Haus und Werkstätte von dieser Thatsache Gebrauch gemacht. Die Arbeiter in Schmelzhütten hatten seit undenklichen Zeiten die glühende Masse ihrer Hochöfen durch gewöhnliche Glastafeln beschaut und dadurch wirklich die Hitze von ihren Augen abgehalten, die sie, ohne Schutz, verbrannt haben würde. Treibhäuser hatte man mit Glas bedeckt, weil man wußte, daß die Sonnenwärme durch das Glas wohl eindringt, die von den Blumen, Wänden, Oefen ausgestrahlte Wärme aber nicht so leicht hinausgelangt. Was die Erfahrung unbegriffen längst besaß, wurde durch die wissenschaftliche Forschung festgestellt.

Melloni's im Jahre 1831 angestellte Versuche gaben neue Aufklärung. Er wies im glänzenden Sonnenlichte dunkle Wärmestrahlen nach, von deren Dasein nur das Thermometer erzählt, und durch künstliche Mittel wußte er diese sogar vollständig von den leuchtenden Strahlen zu sondern. Er zeigte ferner, daß, je niedriger die Temperatur der Wärmequelle ist, um so geringer nicht allein die Menge der durch eine Glasplatte gehenden Wärmestrahlen, sondern um so geringer auch die Zahl der Körper wird, welche überhaupt noch ihre Wärmestrahlen durchlassen. Je mehr sich die strahlende Wärme dem leuchtenden Zustande nähert, um so größer wird ihr Durchstrahlungsvermögen, so

daß der Sonnenstrahl in der That fast Alles mit seiner Wärme durchdringt.

Die Vermuthung, daß die strahlende Wärme gleichsam nur dunkles Licht sei, wird zur vollen Gewißheit, wenn man den Weg des Wärmestrahls nach seinem Durchgange durch die Körper verfolgt. Er wird gebrochen, wird abgelenkt, wie der Lichtstrahl, und nach demselben Gesetze. Freilich vermag ihm auf diesen Abwegen unser Gefühl nicht mehr zu folgen; wohl aber vermag es ein empfindliches Lufthermometer, oder noch besser die thermoelektrische Säule, in welcher sich die geringste Wärmeänderung durch elektrische und magnetische Wirkungen kundgiebt. Daß aber gerade eine solche Brechung, wie beim Lichte, stattfindet, davon liefert das bekannte Brennglas den Beweis. Dieselbe Linse, welche die mit ihrer Axe parallelen Lichtstrahlen in einem Punkte vereinigt und in den vergrößerten oder verkleinerten Bildern der Gegenstände uns die Ablenkung der Lichtstrahlen sichtbar macht, vereinigt auch die hindurchgehenden Wärmestrahlen in einem Punkte, und dieser Punkt führt eben davon den Namen des Brennpunktes.

Endlich werden auch die Wärmestrahlen, wie die Lichtstrahlen, wenn sie durch eine enge Spaltöffnung gehen, gebeugt und breiten sich seitwärts aus, wenn diese Ausbreitung auch nur durch sehr feine Wärmemesser nachzuweisen ist. Wärmestrahlen, die durch zwei einander sehr nahe Oeffnungen gehen, heben sogar einander ebenso auf, wie zwei Lichtwellen, welche Dunkelheit erzeugen, oder zwei Wasserwellen, die in eine ebene Fläche zusammenfließen.

Diese Uebereinstimmung zwischen Wärme und Licht in allen ihren Erscheinungen und allen ihren Bewegungsgesetzen nöthigt mehr und mehr, in der Wissenschaft den Unterschied fallen zu lassen, den man noch in der Alltäglichkeit zu machen gewohnt ist. Wärme und Licht beruhen beide auf *einer* Wellenbewegung, sind nur verschieden empfundene Wirkungen derselben Erscheinung. Ein Unterschied kann nur in der Größe der Wellen, ihrer Breite und Höhe, und der Geschwindigkeit ihrer Theilchenschwingungen bestehen, wovon dann auch die Wirkung abhängt. Wenn ein Glasspiegel nur das Licht und nicht auch die Wärme eines künstlichen Lichtes zurückwirft, wenn wir das Nordlicht sehen, aber seine Wärme auch durch die besten Thermoskope nicht wahrzunehmen vermögen, so beweist das nur die verschiedene Empfänglichkeit des Auges und des Thermoskopes für solche durch Zurückwerfung geschwächte Wellen. Wenn wir die von dunkelen Körpern ausgehenden Wärmestrahlen nicht sehen, d. h. nicht als Licht empfinden, so liegt

das einfach darin, daß die brechenden Flüssigkeiten unseres Auges für diese Strahlen undurchsichtig oder besser undurchwärmig sind. Gäbe es ein Thier, dessen Auge diese Wärmestrahlen durchließe, so würden diesem Thiere Körper, die uns dunkel erscheinen, sich als selbstleuchtende zeigen.

Was das Auge als Licht empfindet, kann man sagen, empfindet der Tastsinn als Wärme. Das Empfundene ist wesentlich dasselbe, aber die Verschiedenheit der Empfindungen ist so groß, daß erst die mühsamste und genaueste Vergleichung aller Einzelnheiten im Verhalten des Lichts und der strahlenden Wärme dazu gehörte, um selbst den wissenschaftlichen Forscher davon zu überzeugen, daß beide Empfindungen auf denselben Erscheinungen beruhen, auf Schwingungen, die etwa nur durch die Dauer, auf Wellen, die etwa nur durch die Breite unterschieden sind. Der empfindende Nerv der Haut macht keine Unterschiede in diesen Strahlungen nach ihrer Schwingungsdauer, das Auge dagegen sehr bestimmte. Die Haut empfindet die leuchtende Wärme der Sonne, wie die dunkele des Ofens. Die tastende Haut besitzt auch keine Apparate, welche, wie die optischen des Auges, die Strahlungen jedes einzelnen Punktes draußen auch auf einen einzelnen Punkt der Nervenfläche vereinigen und von allen übrigen sondern könnten. Die Haut empfindet darum ihre Eindrücke nur ganz allgemein, ohne ein Urtheil über den Ort und die Form des strahlenden Dinges. Nur beim Blinden übernimmt vielleicht die Haut bisweilen die Rolle des Auges und macht es ihm möglich, sich nach Wärmestrahlungen zu orientiren, die ihm von den Körpern, denen er sich nähert, zugesandt werden.

Wenn Licht und Wärme also eine gemeinsame Quelle haben, so kann diese nicht mehr ein Stoff sein, der von den Körpern ausströmt und sich etwa nach den Gesetzen chemischer Verwandtschaft mit den Körpern verbindet. Die strahlende Verbreitung der Wärme selbst von Körpern, die kälter als ihre Umgebungen sind, die ununterbrochene Entwickelung von Wärme durch Reibung, die Brechung und Interferenz von Wärmestrahlen, alles das würde bei der Annahme eines Wärmestoffes unerklärbar bleiben. Die gemeinsame Quelle für Licht und Wärme kann nur die Wellenbewegung sein. Dann aber beruht auch der Wärmezustand oder die Temperatur eines Körpers nur auf Schwingungen. Dann ist überhaupt Alles unabläßig in Schwingungen begriffen, da Wärmestrahlen ununterbrochen von allen Körpern ausgehen müssen. Ihrer Schnelligkeit und Kleinheit wegen nehmen wir allerdings diese Schwingungen nicht immer wahr; erst wenn sie

eine gewisse Stärke und Größe erlangt haben, geben sie sich durch die Ausdehnung der Körper und durch die Veränderung ihrer Aggregatzustände zu erkennen. Schnell schreiten diese Schwingungen in der Form von Wellen nach allen Seiten hin fort; jedes Aethertheilchen theilt dem andern seine Bewegung mit, um selbst zur Ruhe zurückzukehren. Wenn aber Massen in Bewegung gesetzt werden sollen, wenn die Wärmewelle einen Körper durchschreitet, dann vermögen nur langsam und durch wiederholte Anstöße die Schwingungen der Körpertheilchen zu einer merklichen Größe anzuwachsen, gerade wie ein Pendel durch wiederholte schwache Stöße erst nach und nach in starke Schwingungen versetzt wird. Darum erfolgt die Wärmestrahlung schnell, die Wärmeleitung sehr langsam und um so langsamer, je lockerer das Band ist, das die Theilchen eines Körpers zusammenhält, je weniger die Theilchen geneigt sind, eine Störung, die dem einen widerfährt, zu einer gemeinsamen Sache zu machen.

So hat die Wärme wieder den Blick auf ein wogendes Meer eröffnet. Wellen fließen durch das sonnige Thal, durch die kühlen Schatten des Waldes. Zart und leise schleichen diese Wellen daher; ihr Donner erschreckt nicht das Ohr, ihr Schlag zerschmettert nicht Felsen, wie die brandende Woge des Oceans. Kein Organ des Menschen vermag sie zu erfassen. Aber diese kleine stumme Welle durchzittert das ganze Weltall vom Staubkorne zum Sonnenballe; diese unfaßbar zarte Welle vermag in ihrem unabläßigen Andrange Felsen zu spalten und Welten in Trümmer zu schlagen.

Fünftes Kapitel.

Töne und Klänge.

Tonerregende Schwingungen.

Das weite Wellenmeer, dessen Schwingungen wir als Schallwellen kennen lernten, ist wohl niemals ganz still und unbewegt. Zahllose Wellen durchziehen es beständig. Der Wind rauscht durch die Bäume, oder das Rieseln und Plätschern rinnenden Wassers bringt an unser Ohr. Von der Straße herauf vernehmen wir das Knarren be-

ladener Wagen, das Klirren der Wagenketten, das Getrampel der Pferde; oder um und unter uns raſchelt und ſummt es von Käfern, die ſich durch das Laub arbeiten, oder Inſecten, die uns umſchwirren. Das ſind auch Wellen, die unſer Ohr treffen, aber ſie laſſen uns unberührt, wenn mitten durch ſie die Töne eines Vogelgeſanges hervorquellen. Es muß alſo wohl etwas Anderes um einen Ton ſein, es muß nicht jede Erſchütterung, jede Schallwelle auch einen Ton erzeugen.

Eine einfache Erſchütterung der Luft, der keine andere nachfolgt, iſt ein Schall im engeren Sinne, höchſtens, wenn ſie ſehr ſtark iſt, ein Knall. Wenn wir mit einem Stocke gegen einen Stein oder ein Stück Holz ſchlagen, ſo hören wir nur einen Schall. Wenn wir viele ſolche Schläge auf einander folgen laſſen, ſo erzeugen ſie wohl ein Geräuſch, höchſtens, wenn ſie ſtark ſind, einen Lärm, aber keinen Ton. Ein ſolches Geräuſch, das ſich eben nur aus ungleichartigen oder unregelmäßig auf einander folgenden einzelnen Schallſchwingungen zuſammenſetzt, kann freilich ſehr mannigfacher Natur ſein und uns als Rauſchen oder Brauſen, Raſſeln oder Klirren erſcheinen. Niemals aber wird man es mit einem Tone verwechſeln. Wenn wir aber mit dem Stocke, ſtatt auf den unelaſtiſchen Stein, auf eine Metallplatte oder auf ein Trommelfell ſchlagen, ſo iſt ſofort der Ton da. Der unelaſtiſche Stein ließ es bei der erſten erregten Schallwelle bewenden; das elaſtiſche Metall erzeugt ſie von Neuem und immer wieder in regelmäßigen Abſtänden. Wenn alſo der Schall auf einer vereinzelten Schwingung, das Geräuſch auf einer Summe von Schwingungen beruht, ſo gehört zur Empfindung eines Tones eine Folge gleichmäßiger Schwingungen, wie ſie durch die gleichmäßigen Wirkungen der Elaſticität bedingt ſind. Es gehört aber auch ferner dazu eine gewiſſe Geſchwindigkeit der Aufeinanderfolge dieſer Schwingungen, damit ſie unſer Ohr nicht mehr als einzelne, ſondern in ihrer Geſammtheit als Ganzes zu erfaſſen vermag.

Wenn uns einmal im Winter die ſtrenge Kälte draußen oder ein tobender Schneeſturm veranlaßt hatten, das Feuer in unſerem Ofen etwas gar zu heftig zu ſchüren, und wenn wir dann, um die Gluth zu mäßigen, die Thür des Ofens etwas öffneten, ſo vernahmen wir wohl plötzlich eigenthümliche Töne, die ſchnell hinter einander geiſterhaft durch das Zimmer klangen. Allmälig folgten ſich dieſe Töne langſamer, und damit verlor ſich auch ihr Klang und ging in ein knarrendes Geräuſch über. Die Erklärung dieſer Erſcheinung giebt ſich von ſelbſt. Die erkaltende Ofenthür war es geweſen, welche dieſe Töne zauberte.

Die Ungleichheiten im Erkalten der Ofenthür hatten eine Menge von einzelnen Stößen erzeugt, Schwingungen, die, vereinzelt sich uns mittheilend, nur den Eindruck einzelner Schallempfindungen, als Ganzes aber den Eindruck eines Tones veranlaßten.

Wie wir hier den Ton sich in einzelne Schallstöße auflösen sahen, so können wir ihn auch andererseits mit der zunehmenden Geschwindigkeit der Schwingungen entstehen sehen. Wenn wir einen schlaff gespannten Faden durch einen Stoß in Schwingung bringen, so sehen wir zwar deutlich die einzelnen regelmäßigen Schwingungen, aber wir vernehmen keinen Ton. Wenn wir aber den Faden straffer anziehen, so daß die Elasticität sich geltend machen kann, so werden die Schwingungen schneller und entziehen sich dem Auge, um sich dem Ohre als Töne zu offenbaren. Je straffer der Faden gespannt wird, desto schneller werden die Schwingungen, desto höher und heller erklingen die Töne. Es giebt also eine Grenze, wo das Ohr nicht mehr hört, d. h. nicht mehr die Schwingungen als Töne auffaßt, weil die Schwingungen zu langsam einander folgen; es wird aber auch eine Grenze für die Töne geben, wo die Schwingungen zu rasch erfolgen, um hörbar zu werden.

Nicht an die Natur der Körper ist also die Tonbildung geknüpft, sondern nur an die Regelmäßigkeit und Schnelligkeit der Schwingungen. Von der Geschwindigkeit der Schwingungen oder von der Zahl der in der gleichen Zeit stattfindenden Schwingungen hängt nun auch ab, was wir die Höhe und Tiefe der Töne nennen. Dieselbe Saite, in ihrer Mitte angezogen und dann dem Spiele ihrer Erzitterungen überlassen, macht in derselben Zeit stets dieselbe Anzahl von Ausbiegungen. Sie giebt daher auch stets einen Ton von gleicher Höhe. Spannt man aber nur die halbe Länge dieser Saite an, so werden in derselben Zeit doppelt so viele Hin- und Hergänge stattfinden. Der wahrgenommene Ton wird dann doppelt so hoch oder das sein, was man die Octave des ersten Tones nennt. Es ist hier ganz etwas Aehnliches, was man bei den Pendelschwingungen beobachten kann. Ein an einem Faden aufgehängtes Gewicht macht seine Hin- und Hergänge in derselben Zeit um so öfter, je kürzer der Faden ist. Das lange Pendel einer Wanduhr schwingt sehr langsam, während das kurze Pendelchen einer Nippuhr äußerst schnell hin- und hergeht. So entspricht auch ein Klang von einer bestimmten Höhe stets einer bestimmten Geschwindigkeit der Erschütterungen des Stoßes, und umgekehrt wird dieselbe Anzahl von Schwingungen in der Secunde auch

stets einen Ton von derselben Höhe ergeben, wie verschieden auch sonst die Ursachen und Umstände seiner Erzeugung sein mögen. Aber an dem schwingenden Pendel wird man noch etwas Anderes beobachten. Wenn man es weiter aus seiner Ruhelage entfernt, wird es auch weiter ausschweifende Hin- und Hergänge machen, immer aber denselben Hin- und Hergang, wie groß oder klein er auch sein möge, genau in derselben Zeit vollziehen, so daß die Anzahl der Schwingungen durch die größere oder geringere Heftigkeit der Bewegung unverändert bleibt. Im Reiche der Töne heißt nun diese Heftigkeit der Bewegung der Stofftheilchen die Tonstärke. Hängt also die Tonhöhe von der Geschwindigkeit der Schwingungen, so hängt die Tonstärke von der Weite oder sogenannten Amplitude der Schwingungen ab. Ist es die Häufigkeit der in derselben Zeit vor sich gehenden Erzitterungen der Stofftheilchen, die über die Höhe und Tiefe der Töne entscheidet, so ist es gleichsam der Bewegungsandrang der stofflichen Theilchen, der über das Lauter und Leiser der Töne bestimmt.

So schnelle und gleichförmige Anstöße, wie sie die Erzeugung des Tones verlangt, würden wir nicht mit solcher Leichtigkeit hervorzurufen vermögen, wenn uns nicht die Elasticität der Körper mit ihrer, automatisch den Stoß fortsetzenden Theilchenbewegung zu Hülfe käme. Wo aber doch einmal, sei es durch Vorgänge in der Natur, oder durch künstliche mechanische Verrichtungen, unelastische Anstöße in hinlänglicher Häufigkeit und Regelmäßigkeit erzeugt werden, da tritt auch immer der Ton als nothwendige Folge und als Zeuge dieses Vorganges ein. Die singenden Töne, welche das Wasser kurz vor dem Sieden hören läßt, sind solchen Ursprungs. Sie entstehen durch die schnell auf einander folgende Bildung von Dampfbläschen, die stets sofort wieder vernichtet werden, und in deren Raum dann das Wasser zusammenschlägt. Die wunderbaren Töne der erkaltenden Ofenthür sind eben solchen Ursprungs, erzeugt durch die in stetem Wechsel von Ausdehnung und Zusammenziehung stattfindenden Berührungen mit der kälteren Unterlage. Auch die Mechanik hat Mittel zu so regelmäßigen und schnellen Bewegungen gefunden, wie sie das Wesen der Tonerzeugung fordert, und da die Mechanik zugleich genau die Mittel kennt, mit welchen sie ihre Wirkungen ausübt, so ist sie auch im Stande, die einzelnen schnellen Anstöße zu zählen, die in ihrer Summe die verschiedenen Tonempfindungen hervorrufen. Ein solches Mittel, die Schwingungen der Töne zu zählen, ist die Sirene.

Die von Savart erfundene Sirene besteht aus einem gewöhn-

lichen gezahnten Rade, welches bei der Umdrehung um seine Axe mit seinen Zähnen gegen eine elastische Feder stößt. Bei langsamer Drehung hört man nur einzelne Stöße, die zu einem knarrenden Geräusche werden. Bei schnellerer Bewegung aber entsteht ein Ton, anfangs ein dumpfer, tiefer, der aber immer heller und höher wird und endlich die höchsten Stufen unserer musikalischen Tonleiter erreicht, wenn die Drehung des Rades ihre größte Beschleunigung erhält. Da nun die Drehung dieses Rades wieder durch ein Räderwerk vermittelt wird, und jedem einmaligen Umschwunge des ersten Rades eine genaue, voraus zu bestimmende Anzahl von Drehungen des letzten Rades entspricht, so läßt sich sogar an einem Zeiger die Zahl der Umdrehungen und also auch die Zahl der Stöße ablesen, welche die Zähne des Rades gegen die Feder ausführen, so daß man genau erfährt, wie viele Stöße jedem einzelnen Tone vom ersten und tiefsten bis zum letzten und höchsten, noch hörbaren entsprechen. Ebenso, wie der Stoß des gezahnten Rades gegen eine elastische Feder, kann auch ein gleichmäßiger Luftstrom, welcher gegen eine am Rande mit Löchern versehene Scheibe stößt, durch die regelmäßigen Unterbrechungen, welche er bei einer Umdrehung der Scheibe erfährt, solche Schwingungen und Töne hervorbringen. Auf diesem Principe beruht die Einrichtung anderer Sirenen, wie der von Seebeck und Caguiard la Tour.

Mit Hülfe solcher Sirenen ist es gelungen, die Grenzen zu bestimmen, innerhalb welcher für das empfindlichste Ohr noch Tonempfindungen möglich sind. Savart giebt für den tiefsten hörbaren Ton 7—10 Schwingungen in einer Secunde, für den höchsten, aber selten wohl noch wirklich unterschiedenen Ton 45,000 Schwingungen in der Secunde an. Die Musik bewegt sich freilich in engeren Grenzen. Der tiefste Ton der Orgel, der einer 32füßigen offenen Pfeife, oder das Subcontra-C, entspricht 16 Schwingungen in der Secunde, und der höchste Ton, das 5 gestrichene c, 4096 Schwingungen. Zwischen beiden Tönen liegen die 8 Octaven der Musik.

Auf so unelastische, nur künstlich in solcher Regelmäßigkeit und Geschwindigkeit zu erzeugende Anstöße hat sich natürlich die Musik nicht gründen können. Sie hat sich an jene innere Bewegung der Stoffe selbst wenden müssen, die ja nur angeregt zu werden braucht, um in unabänderlicher Gleichmäßigkeit fortzuschwingen. Die Elasticität der Körper ist die bezaubernde Sirene, die aus den Stoffen heraus ihren Gesang erklingen läßt.

Wenngleich alle Körper eine gewisse Elasticität besitzen, so werden

doch nur diejenigen wahrnehmbare Töne zu erzeugen vermögen, die einen solchen Grad von Elasticität besitzen, daß ihre Theilchen eine merkliche Störung ihrer Gleichgewichtslage erleiden, daß sie hinreichend schnelle und kräftige Bewegungen annehmen können. Flüssigkeiten, die bekanntlich nur sehr wenig zusammendrückbar sind, schließen daher von vorn herein den Zauber der Töne aus.

Die Intervalle.

Wenn auch die Verschiedenheiten der Töne auf verschiedenen Schwingungszahlen beruhen, so zählt doch das Ohr, wenn es Töne vernimmt, keineswegs die Schwingungen oder die Wellen, welche sie erzeugen. Zu zählen lieben die Sinne überhaupt nicht; sie nehmen unmittelbar nur Ganzes auf. Aber das Ohr vergleicht, es unterscheidet Verhältnisse, und in solchen Verhältnissen beruht das Geheimniß des Wohlklanges, der Harmonie.

Wenn zwei Töne von wenig verschiedener Schwingungszahl zusammen klingen, so vermag sie selbst das geübteste Ohr selten zu unterscheiden. Wenn aber ihre Schwingungszahlen in einem gewissen einfachen Verhältnisse zu einander stehen, so erfaßt sie das einfachste Ohr, sie klingen ihm angenehm, sie harmoniren. Es ist bekannt, wie schwer es dem tüchtigsten Sänger wird, vom Tone d zum f überzugehen, während er mit Leichtigkeit die Octave findet. Jenem entspricht das Verhältniß von 27 . . 32, dieser das Verhältniß 1 . . 2. Einfache Verhältnisse sind es im Allgemeinen, welche den Wohlklang, die Consonanz erzeugen, schwierige, verwickelte Verhältnisse, welche dem Mißklange, der Dissonanz zu Grunde liegen. Aber man ist doch zu weit gegangen, wenn man gemeint hat, die einfachen Zahlenverhältnisse seien es überhaupt, welche, indem sie die leichte Einfügbarkeit der verschiedenen Schwingungszeitmaße bedingen, auch über Harmonie und Disharmonie entschieden. Wir werden diesen Unterschied sich noch ganz anders begründen sehen.

Auf dem Verhältnisse der Schwingungszahlen oder den Intervallen beruht nun die musikalische Unterscheidung der Töne. Wenn wir eine bestimmte Saite, welche beim Anschlage den Ton C giebt, nach gewissen einfachen Verhältnissen verkürzen, so werden dadurch auch in denselben Verhältnissen ihre Schwingungen beschleunigt, und wir können so nach einander alle einzelnen Töne der musikalischen Tonleiter erzeugen. Verkürzen wir die C-Saite um die Hälfte, so erhalten wir das ansprechendste und selbst von den rohesten Völkern empfundene

Tonverhältniß der Octave c. Verkürzen wir die Saite auf $^2/_3$, so erhalten wir die Quinte G; verkürzen wir sie auf $^4/_5$, so erhalten wir die große Terz E. Lassen wir diese 3 Töne zugleich erklingen, so daß also das Verhältniß ihrer Schwingungszahlen durch die Zahlen 4, 5, 6 ausgedrückt wird, so erhalten wir die schönste aller Tonverbindungen, den in der Musik als großen Dur-Dreiklang bekannten Accord CEG. Aber wir können nach diesen einfachen Verhältnissen noch weitere Töne bilden. Wir können von der Quinte G als Grundton ausgehen und die G-Saite nach einander auf $^1/_2$, $^2/_3$, $^4/_5$ verkürzen. Wir erhalten dann wieder die Octave g, die entsprechende Quinte d, die zum Grundtone c die Secunde bilden würde, und die entsprechende Terz H, die zum Grundtone C die Septime bildet. Wir können dann endlich, statt die C-Saite um die Hälfte zu verkürzen und dadurch die Octave c zu erzeugen, sie in einem nicht minder einfachen Verhältnisse auf $^3/_4$ verkürzen. Wir erhalten dann die Quarte F. Nehmen wir nun diesen Ton zum Grundtone und bilden seine Terz und Quinte nach dem einfachen Verhältnisse der Zahlen 4, 5, 6, so erhalten wir als seine Terz den Ton A, der die Sexte zum Grundtone C bildet, und als seine Quinte den Ton c, die Octave von C. Diese 7 in so einfacher Weise erzeugten Töne bilden die Elemente jeder nach den allgemeinen Schönheitsgesetzen gebildeten Musik. Es sind die Töne der sogenannten diatonischen Durtonleiter, die nach ihrer Höhe geordnet und mit ihren entsprechenden Schwingungszahlen, den Grundton C als Einheit angenommen, folgende Reihe bilden:

C	D	E	F	G	A	H	c
1	$^9/_8$	$^5/_4$	$^4/_3$	$^3/_2$	$^5/_3$	$^{15}/_8$	2

Man wird auf den ersten Blick bemerken, daß die Verhältnißzahlen zwischen je zwei benachbarten Tönen in dieser Reihe nicht gleich groß sind. Zwischen C und D, zwischen F und G, zwischen A und H beträgt das Verhältniß $^9/_8$; zwischen D und E, G und A aber ist es $^{10}/_9$, zwischen E und F, H und c ist es vollends $^{16}/_{15}$. Diese verschiedenen Abstände oder Intervalle sind in der Musik von großer Wichtigkeit, und man bezeichnet sie hier, das erste Intervall als einen großen ganzen, das zweite als einen kleinen ganzen, das dritte als einen großen halben Ton.

Aber diese Intervalle sind durchaus nicht die einzigen, welche in der Musik vorkommen können. So gut wie der Ton C, muß auch jeder andere Ton Tonfolge abgeben können. Töne der C-dur-Tonleiter

nicht mehr, und es müssen statt ihrer etwas höhere oder tiefere Töne eingeschaltet werden. Nach der einfachen Ordnung, welche wir in der Durtonleiter erforderlich fanden, wenn die Folge der Intervalle unser Ohr befriedigen soll, müssen auf den Grundton zunächst zwei ganze Töne, dann ein halber Ton und endlich wieder 3 ganze Töne folgen. Gehen wir nun von E als Grundton aus, so findet schon dessen große Terz nicht mehr den entsprechenden Ton in G; denn die Terz für E verlangt einen Ton, dessen Schwingungszahl $^5/_4$ mal die von E übertrifft, also $= {}^{25}/_{16}$ ist, während die Schwingungszahl von G nur $^3/_2$ oder $^{24}/_{16}$ beträgt. Es muß also statt des Tones G ein Ton eingeschaltet werden, der auf 16 Schwingungen des Grundtons eine Schwingung mehr enthält als der Ton G. Dieser um so viel höhere Ton wird in der Musik mit Gis bezeichnet. Eben so wird beim weitern Fortschreiten von der Quinte H zur zugehörigen großen Terz ein Ton erfordert werden, dessen Schwingungszahl $^{75}/_{32}$ beträgt, der sich also wesentlich von dem Tone d, dessen Schwingungszahl $= {}^9/_4$ oder $^{72}/_{32}$ ist, unterscheidet, und der nun in der Musik dis genannt wird. Durch solche Einschaltungen wird nun zwar die alte Ordnung der Intervalle wieder hergestellt, aber es werden neue Töne eingeführt, die in Betreff ihrer Schwingungszahlen zu denen, an deren Stelle sie getreten sind, noch geringere Intervalle bilden, als die bisher unter dem Namen der großen halben Töne erwähnten. Vergleichen wir Gis und G oder Dis und D mit einander, so finden wir in beiden Fällen ein Intervall von $^{25}/_{24}$. Diese Intervalle werden als kleine halbe Töne bezeichnet.

Eine neue Veranlassung zur Einschaltung von Zwischentönen wird durch den Mollaccord gegeben. Die einfachste aller Tonverbindungen, der große Durdreiklang ging aus der Terz und Quinte des Grundtons, also aus der Aufeinanderfolge zweier Terzen hervor, von denen die erste dem Intervall $^4/_5$, die zweite dem Intervall $^5/_6$ entsprach, und die darum als große und kleine Terz unterschieden werden. Eine ganz andere Tonverbindung wird aber erzeugt werden, wenn man die Ordnung dieser Intervalle umkehrt und die große Terz auf die kleine folgen läßt, obgleich man doch im Grunde nur auf etwas anderm Wege zu demselben Ziele, der Erzeugung der Quinte des Grundtons, gelangt. Die Schwingungsverhältnisse dieser 3 Töne werden also den Zahlen 1, $^6/_5$, $^3/_2$ oder den ganzen Zahlen 10, 12, 15 entsprechen, während sie im Durdreiklange den einfachen Zahlen 4, 5, 6 entsprechen. Diesem verwickelteren Zahlenverhältnisse ist auch

der Eindruck, welchen der Molldreiklang im Ohre und Gemüthe hervorruft, angemessen; er erscheint minder klar und minder lebendig. Der Mollaccord verlangt also zum Grundtone C nicht die der Schwingungszahl $^5/_4$ entsprechende große Terz E, sondern einen etwas niedrigeren, der kleinen Terz mit der Schwingungszahl $^6/_5$ entsprechenden Ton, den man mit Es bezeichnet. Der C-Moll-Accord umfaßt also die Töne C, Es, G. Durch eine ähnliche Erweiterung, wie beim Duraccord, läßt sich auch beim Mollaccord die Molltonleiter ableiten, indem man der Quarte ihren Mollaccord, der Quinte ihren Duraccord giebt. Diese Molltonleiter für den Grundton C umfaßt daher folgende Töne und folgende Verhältnisse der Schwingungszahlen:

C	D	Es	F	G	As	H	c
1	$^9/_8$	$^6/_5$	$^4/_3$	$^3/_2$	$^8/_5$	$^{15}/_8$	2

Das musikalische Bedürfniß hat in dieser Weise zwischen allen ganzen Tönen zwei halbe Töne geschaffen, bald durch Erhöhung des einen, bald durch Vertiefung des andern Tones. Die erhöhten Töne bezeichnet man durch Anhängung der Silbe is, die vertieften durch Anhängung der Silbe es; nur für hes, aes und ees sind die Bezeichnungen b, as und es eingeführt worden. Man kann so eine Tonfolge vom Grundtone zu seiner Octave bilden, die aus 12 halben Tönen besteht. Das ist die sogenannte chromatische Tonleiter der Musik, die folgende Gestalt hat:

C	Cis / Des	D	Dis	E	Eis / Fes	F	Fis / Ges	G	Gis / As	A	Ais / B	H / Ces	His / C

Die ausübende Kunst vermag in der Musik ebenso wenig wie auf anderen Gebieten dem Gesetze in seinen strengen Forderungen überall zu folgen. Es müssen oft Mittelwege eingeschlagen werden, durch welche man der ausübenden Mechanik auf der einen Seite und dem Gesetze der Sinnesempfindung auf der anderen Seite in gleicher Weise gerecht wird. Man muß feine Unterschiede fallen lassen und Abweichungen von dem einen Gesetze gestatten, um das andere nicht noch auffallender zu verletzen. So sieht sich die ausübende Musik genöthigt, die feinen Unterschiede zwischen den erhöhten und vertieften halben Tönen von vornherein auszugleichen. Allerdings sind diese Unterschiede nur sehr gering. Wenn z. B. der erhöhte Ton Gis auf je 80 Schwingungen des Grundtones C 125 Schwingungen macht, so verlangt der vertiefte Ton As deren 3 mehr, und auf 375 Schwingungen kommen 384 Schwingungen für Es. Immerhin aber

wird auch durch die Ausgleichung dieser kleinen Unterschiede das ursprüngliche Verhältniß der Intervalle gestört. Aber dieses Verhältniß erleidet auch noch durch einen andern Umstand Störungen. So einfach und natürlich nämlich, ja so unumgänglich die Forderung der Theorie erscheint, die Schwingungszahlen so festzustellen, daß alle großen Terzen genau das Schwingungsverhältniß $1 .. {}^{5}/_{4}$, alle kleinen Terzen das von $1 .. {}^{5}/_{6}$, alle Quinten das von $1 .. {}^{3}/_{2}$, alle Octaven das von $1 .. 2$ behaupten, so läßt sie sich dennoch in der Praxis nicht durchführen. Die Töne würden andere werden, je nach den Wegen, auf denen man zu ihnen gelangte. Wollte man durch lauter große Terzen vom Grundtone C, also durch E und Gis zur Octave c fortschreiten, und wollte man diese Terzen genau stimmen, so würde der Ton c das Schwingungsverhältniß ${}^{125}/_{64}$ erfordern, während es doch für die Octave $= 2$ oder ${}^{128}/_{64}$, also um ${}^{3}/_{64}$ größer ist. Die Octave würde daher zu tief werden. Wollte man ebenso durch lauter kleine Terzen von C durch Es, Ges, A zu c fortschreiten, so würde man für c das Verhältniß ${}^{1296}/_{625}$ erhalten, das um ${}^{46}/_{625}$ zu groß wäre; die Octave würde also zu hoch ausfallen. Solche feine Unterschiede, die man in der Musik als *Komma* bezeichnet, würden aber bei jedem Fortschreiten durch andere Intervalle als Octaven eintreten. Da es nun darauf ankommen muß, vor Allem das einfachste Tonverhältniß rein zu erhalten, für welches das Ohr am empfindlichsten ist, so hat man sich in der Praxis genöthigt gesehen, alle jene kleinen Unterschiede fallen zu lassen und so auf die einzelnen Töne zu vertheilen, daß alle Intervalle gleich sind. Man nennt diese Ausgleichung die *gleichschwebende Temperatur*. Allerdings weicht man dadurch von den strengen Zahlenverhältnissen der Theorie etwas ab und macht alle Töne etwas zu hoch oder zu tief, aber man erreicht doch eine große Vereinfachung der Tonverhältnisse, indem eine große Zahl der verschiedenen halben Töne, Cis und Des, Dis und Es, Fis und Ges, Gis und As, Ais und B zusammenfallen. Bei einem längeren Bewegen der Musik in Terzen oder Quinten kann freilich eine Dissonanz eintreten; aber dann werden sich immer doch Tonverhältnisse finden lassen, in deren Verbindung die Dissonanz angenehm berührt, durch welche sie aufgelöst wird. Solche aufgelöste Dissonanzen in der Musik gleichen einer Figur, deren Theile, einzeln regellos und unsymmetrisch, sich im Ganzen zur harmonischen Schönheitsform gestalten.

Da es nur Bewegungen sind, auf welchen das Wesen aller Töne beruht, Schwingungen, deren Dauer und Zahl berechnet werden kann,

da es nur Verhältnisse sind, welche die Höhe und Tiefe der Töne bedingen, so muß der Ton unter allen Umständen unverändert derselbe bleiben, so lange dieselbe Zahl von Schwingungen in derselben Zeit unser Ohr berührt. Es bleibt gleichgültig für die Höhe des Tones, ob er aus menschlicher Kehle oder aus der schwingenden Saite kommt, oder ob ihn der Sturm im schwankenden Baume anschlägt. Es kann aber doch Umstände geben, unter denen wir einen andern Ton hören, als denjenigen, welchem die Zahl der wirklich stattfindenden Schwingungen entspricht. Es kann nämlich kommen, daß die Schwingungen in einer langsameren oder schnelleren Folge in unser Ohr gelangen, als sie im tönenden Körper einander folgen. Es ist begreiflich, daß dies in gewissem Grade stets eintreten muß, wenn der tönende Körper sich bewegt, oder wenn wir uns dem tönenden Körper nähern oder von ihm entfernen.

Wenn ein Musikchor an uns vorüberzieht, und seine Klänge allmälig in der Ferne verschwimmen, daß nur noch einzelne kräftige Töne unser Ohr erreichen, so ist es doch dieselbe ungestörte Harmonie, die trotz der veränderten Entfernung von uns vernommen wird. Die Harmonie beruht ja auf Verhältnissen, und diese Verhältnisse bleiben ungestört, weil die Fortpflanzungsgeschwindigkeit für alle die verschiedenen Töne die völlig gleiche ist. Die Musik kommt als ein Ganzes in unser Ohr. Aber das Ganze selbst muß dennoch ein anderes geworden sein. Nicht die Harmonie, aber die Höhe und Tiefe der Töne muß sich verändert haben. Denn die Höhe und Tiefe der Töne hängt von der Zahl der Eindrücke ab, welche unser Ohr in gleicher Zeit empfängt. Offenbar aber müssen diese Eindrücke schneller auf einander folgen, wenn sich das Ohr der Tonquelle oder der tönende Körper dem Ohre nähert, als wenn beide ruhen, und offenbar muß die Aufeinanderfolge dieser Eindrücke ebenso verzögert werden, wenn Ohr und Tonquelle sich von einander entfernen. So muß also der Ton höher oder tiefer erscheinen, je nach der Art der Bewegung. Bei einer mäßigen Bewegung der Geschwindigkeit wird natürlich dieser Unterschied nicht merklich werden. Bei einer sehr schnellen Bewegung wird aber der aufmerksame Beobachter sich leicht von der erwähnten Thatsache überzeugen können. Wenn auf einer schnell vorüberfliegenden Locomotive die Signalpfeife ertönt, so wird man in der That deutlich vernehmen, wie der Ton beim Vorbeifahren allmälig tiefer wird. Bei einer gar nicht ungewöhnlichen Schnelligkeit der Locomotive von 50 Fuß in der Secunde beträgt diese Vertiefung einen halben Ton,

so daß ein Ton A bei der Entfernung der Locomotive in B übergeht, während er bei der Annäherung derselben um einen halben Ton höher, als As, gehört wird. Bewegen wir uns selbst auf einem Dampfwagenzuge, dem ein anderer entgegenkommt, so wird der Ton der Pfeife sogar um einen ganzen Ton nach oben und unten verändert werden, so daß der Ton A bei der Annäherung als G, bei der Entfernung als H gehört wird.

Eine solche Abhängigkeit des Tones von der Zahl der Eindrücke, welche das Ohr empfängt, beweist, wie sehr die Töne der Musik durch feste Naturgesetze bestimmt sind, und wie die Tonkunst selbst keineswegs eine zufällig in dem Hirn eines Menschen ausgebrütete Erfindung sein kann. Die Tonkunst ist in der Natur begründet, und ihre Gesetze fließen mit unabänderlicher Nothwendigkeit aus der Natur. Man sollte daher auch meinen, daß, so lange es Musik giebt, und wo sie auch irgend ertönt, das Bedürfniß des Ohres das gleiche sein müßte. Denn ein Naturgesetz kann sich nicht ändern, und ein Verstoß dagegen muß stets von dem nach demselben Naturgesetze gebauten Sinnesorgane als solcher empfunden werden. Aber es giebt freilich einen Umstand, der, unabhängig von diesem Naturgesetze, gleichsam nur in dem Bau des Sinnesorgans und in der Stimmung der Nerven begründet ist und doch wesentliche Umwandlungen in der Musik bewirken kann. Die ganze Tonkunst besteht nämlich in einer Anwendung gewisser naturgemäßer Verhältnisse. Diesen Verhältnissen aber muß eine Einheit zu Grunde liegen, d. h. unter allen den Tönen, in welchen die Musik sich bewegt, und die nur durch Intervalle oder Verhältnisse zu einander in Beziehung stehen, muß einer durch die Zahl seiner Schwingungen fest bestimmt sein. Wir wissen bereits, daß die Reihe der Töne, für welche unser Ohr empfänglich zu sein pflegt, sich zwischen 16 und 2400 Schwingungen in der Secunde bewegt. Sollte sich nun die Empfindung unseres Ohres nach der einen oder andern Richtung hin, d. h. für die höheren oder die tieferen Töne, ändern, so würde sich natürlich auch der als Einheit angenommene Ton ändern, etwas höher oder tiefer werden müssen. Aber auch umgekehrt wird man schließen können. Eine veränderte musikalische Stimmung, d. h. eine Veränderung des zur Einheit und Grundlage genommenen Tones, wird nothwendig auch eine veränderte Empfindlichkeit des Gehörs voraussetzen. Was wir nun von der Musik der Alten wissen, deutet unzweifelhaft darauf hin, daß ihre Stimmung eine viel höhere war, als die unserer heutigen Musik. Unsere Orgel hat bis heute

diese höhere Stimmung behauptet. Der Chorton der Orgel ist fast um einen ganzen Ton höher, als der Kammerton der weltlichen Musik. Aber auch in der heutigen weltlichen Musik begegnen wir nicht unbedeutenden Verschiedenheiten der Stimmung. Unsere heutigen gebildetsten Nationen haben nicht den gleichen Kammerton. Das a der dritten Octave, das man als Kammerton zu bezeichnen pflegt, wird nämlich in der Berliner Oper durch 437, in der großen Oper zu Paris durch 431, in der italienischen Oper durch 424 Schwingungen hervorgebracht. So unbedeutend auch solche Abweichungen an sich erscheinen mögen, so haben sie doch immer einen Einfluß auf die Höhe und Tiefe der ganzen Musik und deuten unverkennbar auf Abweichungen in dem Gehör, noch mehr aber auf eine veränderte Stimmung des menschlichen Tonorgans, der Grundlage aller Musik, hin. Solche Abweichungen sind aber durchaus erklärlich. Mit dem Menschen ändert sich sein Organ, und der Mensch ändert sich mit Klima und Lebensweise. Es ist jedenfalls eine eigenthümliche, wenn auch nicht wunderbare Beobachtung, daß, wie das männliche Stimm- und Hörorgan tiefer gestimmt ist, als das weibliche, so auch die Musik der nördlichen Völker tiefer gestimmt, als die der südlichen zu sein pflegt, ja daß auch die Verfeinerung der Bildung eine ganz ähnliche Herabstimmung der Musik zur Folge gehabt zu haben scheint.

Nebentöne und Consonanz.

Da alle elastischen Körper, welche in tonerregende Schwingungen versetzt werden sollen, begrenzte sein müssen, so werden die Bewegungen der Theilchen an ihren Grenzen, gerade wie die Wellen eines Sees an den Ufern, zurückgeworfen, und es erzeugen sich stehende Wellen. Jeder tönende Körper gleicht also der Wasserfläche nach dem Sturme, welche durch die beständige Wiederkehr der zurückgeworfenen Wellen und durch beständige Ausgleichung endlich zu einer unveränderlichen, gleichsam nur auf- und niederschwankenden Form erstarrt ist. Jede tönende Saite gleicht einem locker gespannten Seile, das durch einen Schlag an dem einen Ende erschüttert wird und sich nun in Abtheilungen theilt, so daß es in seiner Gesammtheit einer Wellenlinie mit gleichzeitig nach unten und nach oben gerichteten Ausbiegungen gleicht. Die Saite schwingt also nicht blos als Ganzes, sondern auch jeder dieser gleichgroßen Theile macht seine besonderen Schwingungen. **Die Knotenpunkte**, welche die einzelnen schwingenden Theile trennen,

lassen sich leicht durch feine Papierstreifen sichtbar machen, die man an den entsprechenden Stellen über die Saite hängt, und die beim Tönen der Saite in Ruhe bleiben. Wenn nun die als Ganzes schwingende Saite ihren bestimmten Ton hat, der ihrer Länge und der Geschwindigkeit ihrer Schwingungen entspricht, so werden auch ihren schwingenden Theilen Töne zukommen, die ihrer besonderen Länge entsprechen. Diese sogenannten Nebentöne oder Flageolettöne müssen natürlich höher sein, als der Hauptton, und jedenfalls schwächer, sind aber doch bisweilen hörbar genug. Ein musikalisch sehr geübtes Ohr vermag recht wohl aus einer einzeln auf dem Pianoforte angeschlagenen Note mehrere Töne von verschiedener Höhe herauszuhören. Für das ungeübtere Ohr kann man diese Töne hörbarer machen, wenn man einen zu solchen mitklingenden Tönen gehörenden Schwingungsknoten leicht berührt und dadurch den entsprechenden Theil der Saite verhindert, an den andern Schwingungen Theil zu nehmen, so daß also nur eine Schwingungsart übrig bleibt.

Der für einfach gehaltene Ton ist also keineswegs gleichartig in sich, sondern besteht aus einer Vereinigung mehrerer gleichzeitig erklingender Theiltöne, deren jedem seine eigene Schwingungszahl zukommt. Wenn man einem Tone eine bestimmte Schwingungszahl zuschreibt, so gilt das eigentlich nur für den vorherrschenden und überwiegend gehörten Bestandtheil, der darum auch die Höhe des Tones oder seine Lage in der Tonleiter bestimmt. Die mitklingenden Nebentöne aber stehen immer in einem harmonischen Verhältnisse zu diesem Haupttone. Daraus erklärt sich der liebliche Klang der vom Winde gespielten Aeolsharfe, deren Saiten, trotzdem sie unter einander völlig gleich gestimmt sind, eine solche Fülle von Tönen vernehmen lassen. Eine angeschlagene Saite läßt mit dem Grundtone stets zugleich die Octave hören, aber neben dieser hört ein gutes Ohr auch noch die Quinte und große Terz heraus, so daß der ganze herrliche Duraccord von der einen Saite zugleich angestimmt wird. Auf dem Clavier wird dieser einfache Klang überdies durch das Mittönen anderer, von der Vibration mit ergriffener Saiten unterstützt und verstärkt.

Man hatte darum gar nicht unrecht, wenn man schon in älterer Zeit jeden Klang als einen natürlichen Accord auffaßte. Man ging auch nicht ganz fehl, wenn man den Durdreiklang und dessen Ergänzung durch die Octave in jedem von der Natur einheitlich hervorgebrachten Tone anzutreffen meinte. Aber man ging freilich zu weit, wenn man der Natur geradezu eine gewisse Liebe zur harmonischen Gruppirung beilegte,

durch welche sie dem musikalischen Bedürfnisse unserer Seele entgegen komme. Die musikalische Harmonie beruht vielmehr im Wesentlichen nur auf dem Zusammenstimmen der durch die Kunst hervorgebrachten Töne mit den von der Natur in jedem tönenden Körper vereinigten Theiltönen. Wie wir gesehen haben, enthält der Klang einer Note, die auf irgend einem musikalischen Instrumente angegeben wird, außer dem Haupttone unter den Nebentönen auch seine Octave. Giebt man nun diese Octave auf demselben Instrumente wirklich an, so verstärkt man eigentlich nur einen Theil des ersten Klanges. Die vollkommene Harmonie dieses Zweiklanges beruht also auf einer nachweisbaren Verwandtschaft oder Aehnlichkeit der beiden vereinigten Klänge. Was in dem tieferen Klange enthalten ist, erfährt in dem Zweiklange keine wesentliche Veränderung, sondern nur eine Steigerung der Größe, eine Verstärkung. Die Octave als Oberton ist die gleiche Note mit der Octave, die im Haupttone angegeben wird, und es findet also nur eine Verschmelzung des völlig Gleichartigen statt. So giebt eine Note mit ihrer Octave nur deshalb einen harmonischen Zweiklang, weil sie diese Octave bereits als Theilton enthält und sich daher in der den Zweiklang bildenden Verbindung nur in einem ihrer Elemente verstärkt, im Uebrigen unverändert bleibt.

Aehnlich wie mit diesem Zweiklange verhält es sich auch mit allen anderen mehr oder minder harmonischen Accorden. Die Consonanzen lassen sich durchweg als Verstärkungen der Theiltöne oder Nebentöne auffassen. Der Accord, welcher durch mehrere Töne ausgedrückt wird, findet sich bereits in einem dieser Töne durch die Theiltöne vorgebildet. So kann man in der That von einer näheren oder entfernteren Verwandtschaft der Klänge oder Tongebilde reden, je nachdem sie in ihren Theiltönen mehr oder minder Punkte der Uebereinstimmung und Anknüpfung darbieten. Ganz anders verhält es sich mit den Dissonanzen. Sie beruhen auf Unterbrechungen oder Stößen, welche bei der Vereinigung nichtverwandter Töne entstehen und in dem Ohre die Empfindung des Rauhen und Unangenehmen erzeugen.

Dieser Ursprung der Consonanzen macht es begreiflich, daß das Gefühl dafür keineswegs unserer Seele angeboren sein kann, daß es vielmehr durch Uebung erworben sein will. Sonst wäre es in der That undenkbar, daß je ein Volk ein anderes Klangbedürfniß gehabt haben könnte, als wir heutzutage. Und doch wissen wir, daß die gebildeten Griechen, die in anderen Künsten eine so hohe, fast unerreichbare

Stellung einnahmen, eine Musik besaßen, die uns den Eindruck der Rohheit macht, daß sie nicht blos gleichsam ein anderes Maß bei der Auffassung der Intervalle hatten, sondern daß ihnen auch der einfachste und schönste der Accorde unbekannt war. Allerdings besaßen sie eine diatonische Tonleiter, die mit der unsrigen nahe übereinstimmte, allerdings kannten sie auch die Octave, Quinte und Quarte; aber die harmonische Bedeutung des Dreiklanges war ihnen fremd, und Terz und Sexte galten ihnen darum als dissonirende Intervalle. Sie besaßen darum auch keinen mehrstimmigen Gesang, und bei ihrer Instrumentalmusik konnten die Stimmen höchstens in der Quinte oder Quarte auseinandergehen, um sich im Unisono oder in der Octave wieder zu vereinigen, eine Harmonie, die unserem Ohre keine Befriedigung zu gewähren vermöchte. Aber sie besaßen sogar ein für uns völlig unbegreifliches Klanggeschlecht, das theilweise in Vierteltönen fortschritt. Freilich berichten uns schon griechische Schriftsteller, daß diese Musik auch dem griechischen Ohre keineswegs immer ganz angenehm klang, daß sie als eine unnatürliche und künstliche galt, die von den Wenigsten ausgeübt werden konnte. Wenn aber dem griechischen Ohre nur fremdartig klang, was uns unerträglich sein würde, so beweist das nur, wie jede auf Sinneserfahrung begründete Kunst erst erlernt und entwickelt, jeder Sinn erst erzogen und gebildet werden muß, und daß die Griechen in dieser Kunst allerdings der Stufe der Rohheit noch sehr nahe standen.

Verwundern kann es uns nicht, daß die Tonkunst sich so langsam entwickelt hat, daß das Naturgesetz der Harmonie erst so spät erkannt und so wenig durch den angeborenen Geschmack ersetzt wurde, wenn wir hören, in welchen Fesseln diese Kunst Jahrtausende hindurch schmachtete. Wenn man durch gesetzliche Bestimmungen das Unvollkommene und Unrichtige zur unwandelbaren Wahrheit stempelte, wenn man, wie in Athen und Sparta, Aenderungen in der Musik, Vermischungen ihrer Tonarten, sogar den Gebrauch der rechten Hand beim Saitenspiele durch Gesetze verbot und mit Strafen belegte; wenn man, wie später Papst Johann XXII., Verordnungen erließ, welche jeden Fortschritt zur Naturwahrheit als Ausartung, jede Erweiterung der unerträglich ärmlichen und unbeholfenen Harmonie als Luxus bezeichneten, so daß es nur an hohen Festtagen zuweilen gestattet war, Wohlklänge, wie eine Octave, Quinte, Quarte oder ein ähnliches, mit der Melodie übereinstimmendes Tonverhältniß zu hören: da freilich konnte der Genius der Kunst seine Flügel nicht entfalten, da sangen vergeblich

die Vögel ihre harmonischen Lieder, da flüsterte vergeblich die Natur in der mitklingenden Saite die Gesetze des Dreiklangs. Erst als die Kunst von diesen Fesseln ganz frei geworden war, konnte sie sich zur heutigen Stufe der Vollkommenheit emporschwingen. Erst mit dem 14. Jahrhundert traten die 12 Töne der chromatischen Tonleiter in ihr volles Recht ein. Jahrtausende hindurch mußten die Stimmen der Kunst tönen, bis sie ihre jetzige Reinheit gewannen, bis das geheimnißvolle Echo der mitklingenden Töne zur mächtigen Tonfülle unserer Harmonie wurde, bis, von den Schwingen des Genius getragen, unsterbliche Geister die unversiegbaren Quellen der Natur öffneten, aus denen ein Zauber quillt, der noch heute die Rohheit besänftigt und den Nächten des Kummers Tröstungen der Liebe entsteigen läßt.

Klangfarbe.

So räthselhaft die Harmonie der Töne erscheinen mußte, so lange man sich ihr Wesen nicht anders zu erklären vermochte, als entweder aus abstracten Zahlenverhältnissen, die eine leichtere Einfügung der verschiedenen Schwingungszeitmaße gestatten sollten, oder gar aus einer mystischen Liebe der Natur zu harmonischer Gestaltung, so gab es doch noch ein anderes tieferes Räthsel in der Tonwelt, das, was man als Klang oder als Klangfarbe zu bezeichnen pflegt. Jeder weiß, daß zwei Töne gleich stark und gleich hoch und dennoch durchaus verschieden von einander klingen können, so verschieden sogar, daß dem Unkundigen die wirklich gemeinsamen Eigenschaften dadurch völlig verdeckt werden können. Dieselbe Note, in gleicher Stärke auf einem Blechinstrumente und einem Saiteninstrumente angegeben, wird niemals völlig denselben Klang haben. Schon zwei verschiedene Claviere lassen uns leichte Nüancen der Klangfarbe erkennen. Diese Verschiedenheit des Klanges geht so weit, daß wir die meisten Körper an ihrem bloßen Klange zu unterscheiden vermögen. Man möchte fast an Seelen der Körper denken, die, ihrer eigenthümlichen Natur entsprechend, in eigenthümlicher Weise aus ihrem Innern hervortönten. Der Phantasie der Griechen war in der That dieser Gedanke nicht ganz fremd, wenn sie den Bäumen ihre Dryaden gab. Und wenn wir dem Rauschen des Windes, diesem ewigen Aeolsharfenconcerte der Natur, lauschen, hören wir da nicht heute noch den bald klagenden, bald lockenden Sang dieser Dryaden? Klingen nicht deutlich aus dem wilden Chaos des Sturmes die einzelnen Stimmen der Bäume hervor, je nach ihrem

inneren Bau oder der Art ihrer Belaubung, je nach der Stärke und Richtung, in welcher der Wind in ihre mächtigen Saiten greift, das Gebrüll der Eiche, das Gekreisch der Buche, der Ulme lange, tiefgezogene Seufzer, zwischen denen die Esche in leidenschaftlicher Angst ihre Tremulos hindurchzittert? Selbst die Metalle scheinen ihre musikalischen Seelen zu haben. Legt man eine erhitzte dreikantige Eisenstange mit der einen etwas rinnenförmig ausgehöhlten Kante auf ein abgerundetes Stück Blei, so beginnt sie sofort in den reinsten Tönen laut zu werden. Darin liegt allerdings noch nichts Wunderbares. Denn es ist der Drang, seine eigene Wärme mit der seiner Unterlage auszugleichen, welcher dem Eisen die Töne entlockt. Das Blei erhebt sich nämlich in Folge der empfangenen Wärme an der Berührungsstelle zu einem kleinen Hügel, und indem sich dadurch die Eisenstange an der einen Seite senkt, ertheilt sie dem Blei an der andern Stelle Wärme, so daß es sich dort wieder zu einem Hügel erhebt und die Eisenstange in die frühere Lage zurücktreibt. Der Ton des Eisens erzeugt sich also durch dieses stete schnelle Hin- und Herschwanken, und durch verschiedene Hitzegrade und verschiedenen Druck kann er bald in höhere, bald in tiefere Octaven hinübergespielt werden. Das Wunderbare ist nur, daß jedes andere Metall in dieser Weise in anderen eigenthümlichen Tönen laut wird, als ob es in der That seine eigene Seele hätte.

Aber auch dieses Räthsel des Klanges löst sich in ähnlicher einfacher Weise, wie das Räthsel der Harmonie seine Lösung fand. Es ist eine Mehrheit von Tönen, die in jedem Klange laut wird, es sind Theiltöne, die jeden Klang zusammensetzen und ihm seine eigenthümliche Färbung ertheilen.

Wir haben den tönenden Körper bisher vielfach mit dem schwingenden Pendel verglichen. Eine solche Pendelschwingung ist eine völlig regelmäßige und gleichmäßige; die eine Hälfte der Schwingung entspricht genau der andern; auf jeder Seite findet die gleiche Ausschweifung, die gleiche Aufsteigung, die gleiche Zu- und Abnahme der Geschwindigkeit statt. Aber es giebt auch unregelmäßige und ungleichförmige Schwingungen, wo der eine Theil nicht mehr dem andern entspricht, wo auf eine allmälige Steigerung der Geschwindigkeit etwa eine plötzliche Umkehr der Bewegung zu ihrem Ausgangspunkte folgt. Eine solche unregelmäßig schwingende Bewegung ist die eines Hammers, der in regelmäßigen Zwischenzeiten unter dem Einflusse der Schwere niederfällt, jedes Mal aber mit gleichförmiger Geschwindigkeit aufge-

hoben wird, so daß das Aufsteigen also nicht dem Niedergange entspricht. So werden aber auch die Schwingungen tönender Körper regelmäßige oder unregelmäßige sein können. Eine Saite, die in der Mitte quer gegen ihre Längenrichtung angezogen und dann ihrem freien Spiele überlassen wird, ist ein Beispiel regelmäßiger pendelartiger Bewegung; die in der Mitte entstehenden Ausschweifungen entsprechen einander genau in ihren Hälften. Eine Saite, die durch einen Violinbogen gestrichen wird, entspricht dagegen den ungleichmäßigen Schwingungen des aufgehobenen und wieder fallen gelassenen Hammers. Der Anriß der Saite tritt hier an die Stelle der Rückkehrbewegungen. Die Saite wird zwar losgelassen, sobald ihre Spannung den Widerstand und die Zugkraft des Bogens an Größe übertrifft; aber diese Loslassung geschieht nur für die eine Hälfte der Schwingung und wird sofort durch einen neuen Anriß gehemmt. Die einzelnen Anziehungen durch den Bogen folgen zwar in anscheinend stetiger Weise, da der Bogen quer über die Saite hingleitet. Aber der ganze Vorgang ist gleichsam aus einer Reihe kleiner Zerrungen zusammengesetzt.

Wie unregelmäßig nun auch eine Schwingung beschaffen sein möge, so kann man sie doch stets aus einer Vereinigung mehrerer gleichzeitiger, regelmäßiger Schwingungen entstanden denken. Diesen regelmäßigen pendelartigen Schwingungen entsprechen nun einfache, in sich selbst völlig gleichartige Töne. Freilich giebt es wenig Instrumente, welche mit einiger Annäherung diese völlig ungemischten Töne angeben. Etwa der Ton einer Stimmgabel ist fast allein auf Rechnung der pendelartigen Schwingungen ihrer Zinken zu setzen. Alle musikalisch brauchbaren Klänge beruhen auf mehr oder minder unregelmäßigen Schwingungen, sind also mehr oder minder zusammengesetzte Tongebilde. Die Energie und der Charakter eines Klanges hängen sogar wesentlich davon ab, daß er aus verschiedenen einfachen Tönen zusammengesetzt ist. Der einfache Ton selbst in seiner völligen Unvermischtheit hat, wie man sich an der Stimmgabel überzeugen kann, etwas Weiches und ist zu mild, gewissermaßen zu charakterlos, um in der Musik Anwendung finden zu können.

Steht es nun auch fest, daß jeder gewöhnliche musikalische Klang das Ergebniß einer Zusammenwirkung der einzelnen einfachen Töne ist, welche von den einzelnen schwingenden Abtheilungen des tönenden Körpers gleichzeitig hervorgebracht werden, so fehlte es doch bisher an einem Mittel, diese Theiltöne wahrnehmbar zu machen. Das unbewaffnete Ohr war in dieser Hinsicht zu ohnmächtig, man mußte das

Dasein der Nebentöne wie eine Sage hinnehmen, ohne sich selbst davon überzeugen zu können. Erst Helmholtz's geistvollen Bemühungen ist es gelungen, ein Instrument zu schaffen, durch welches auch das ungeübteste Ohr in den Stand gesetzt wird, die Nebentöne laut und vernehmlich heraus zu hören. Mit Hülfe dieses Instrumentes, des sogenannten Resonators, dessen Einrichtung wir weiter unten kennen lernen werden, hat Helmholtz die Zusammensetzung der Klänge bis zu den zehnten Theiltönen feststellen können. Er nennt diese Nebentöne harmonische Obertöne, weil sie einerseits stets höher sind als der Hauptton, andererseits in sehr einfachen Verhältnissen der Schwingungszahl zu diesem stehen, nämlich zwei-, drei-, vier- u. s. f. bis zehnmal so große Schwingungszahlen haben.

Die Wirkung dieser Theiltöne auf die Tonempfindung ist leicht zu errathen. Die Mischung des Haupttons mit den höheren Nebentönen muß dem ganzen Klange eine an die höheren Tonstufen erinnernde Färbung ertheilen. Der gleichsam zugespitzte Klang mancher Blechinstrumente rührt in der That von dem Umstande her, daß in ihm höhere Nebentöne von erheblicher Einwirkung auf das Gehör vorhanden sind. Die verschiedensten musikalischen Instrumente sind von Helmholtz in Bezug auf die Zusammensetzung der in ihnen vorherrschenden Klangfarben untersucht worden, und überall hat sich die obige Erklärung als zutreffend erwiesen.

So hat auch das Räthsel der Klangfarben seine Lösung gefunden, und wenn es auch nicht mehr Seelen sind, die aus den Dingen hervortönen, so ist doch immer noch etwas in der eigenen Natur der Dinge, in ihrem innern Bau, was die Mischung der Klanggebilde, was die Mannigfaltigkeit der musikalischen Instrumente bedingt. Von dieser Eigenthümlichkeit der Klangfarben hängt aber wieder der so mannigfaltige Eindruck der Klänge auf unser Gemüth ab. Wie mächtig erschüttert der Klang der Orgel das Innerste unserer Seele, einem Sturme gleich, der die versteckten Feinde aus allen Winkeln jagt! Wie tief und scharf dagegen schneiden die langgezogenen Klänge der Violine in unser Herz ein, in dem vergebens der verhärtete Stolz gegen die Thräne kämpft! Wie sanft endlich gießen die bald klagenden, bald schmeichelnden Klänge der Flöte ihr beruhigendes Oel in das sturmbewegte Meer der Leidenschaften! Alle diese bunten Klänge aber werden durch den Zauber der Kunst unter dem Gesetze der Harmonie vereinigt, und über der Harmonie schwebt wieder, bald von ihr fortgerissen, bald sich sträubend, die Melodie. Ueber dem Ganzen endlich

waltet das Gesetz der Zeit, der Takt, bald zusammenfallend mit den Entwickelungsphasen der Melodie, bald übertäubt von ihrem lebendigen Schwunge, wenn sie im Taumel der Freude oder in leidenschaftlichem Schmerz auf- und abwogend den Spruch der Zeit nicht beachtet. Das Erlebniß der Sinne aber wird zum geistigen Genuß, und mit den verschlungenen Tönen und ihrem Wechselspiele drängt sich unserem Gefühle das Räthsel des Lebens mit seiner Verwebung von Freiheit und Nothwendigkeit auf.

Resonanz.

Die von einem tönenden Körper erregten Schallwellen schreiten durch ihre Umgebung fort und theilen sich allen näheren und entfernteren Stofftheilchen mit. Ein Trompetenstoß erschüttert wirklich Alles, was in seiner Nähe befindlich ist: nicht nur die Luft in weitem Umkreise, sondern auch die nahe genug belegenen festen Körper gerathen in Erzitterungen. Die ursprüngliche Bewegungskraft theilt sich an Alles mit, was Stoff heißt, und wir selbst mit unserem Leibe machen keine Ausnahme. Aber die Wirkung dieser erschütternden Kraft wird eine sehr verschiedene sein, je nachdem die Widerstände beschaffen sind, auf welche sie stößt. Trifft sie auf weiche Stoffe, in denen keine elastische Rückbewegung entstehen kann, so hören die Erzitterungen auf, da die bewegende Kraft sich in der Verschiebung der unelastischen Theilchen aufreibt. Trifft sie dagegen auf elastische Körper, so können diese unter Umständen zu einem Mittönen erregt werden, da die fortschreitenden Wellen in diesen Körpern mit den an den Grenzen derselben reflectirten Wellen zusammentreffen und durch Interferenz in den Körpern neue stehende Schwingungen bilden können. Eine solche Erregung tönender Schwingungen durch die Tonerzeugung und Fortpflanzung von einem andern Körper nennt man das Mittönen oder die Resonanz.

Nicht immer findet dieses Mittönen auch in elastischen Körpern statt. Es kann kommen, daß die einzelnen Antriebe zur Bewegung durch die elastische Rückwirkung selbst ganz oder fast ganz gelähmt werden. An einem Pendel wird sich die Sache am besten erläutern lassen. Ein solches wird nur dann durch regelmäßige Anstöße in Schwingungen versetzt oder in seinen Schwingungen gefördert werden können, wenn diese Anstöße genau in denjenigen Augenblicken eintreten, in welchen sie mit der gerade vorhandenen Bewegungsrichtung des Pendels zusammenwirken. Erfolgen die Anstöße in anderen Zeitpunkten,

wo sie der gerade vorhandenen eigenen Bewegung des Pendels entgegenwirken, so wird das Pendel sehr bald zur Ruhe gelangen. Ganz allgemein werden also auch hier nur gleichartige Bewegungen sich summiren, entgegengesetzte einander aufheben. Wenden wir uns nun vom Pendel zum elastischen Körper, etwa einer Saite, die durch einen tönenden Körper in Mitschwingung versetzt wird. Jede Saite von bestimmter Beschaffenheit hat für jede Schwingung auch eine bestimmte Dauer. Fallen die Anstöße genau mit dieser Dauer zusammen, so werden sie sehr leicht die Bewegung der Saite einleiten, während alle in andern Zeiträumen erfolgenden Anstöße durch Kreuzung und Gegenwirkung die bereits erregten Schwingungen abschwächen werden. Ein Mittönen der Saite wird daher nur eintreten, wenn die erregbaren Schwingungen von gleicher Art mit den ursprünglichen sind, oder, was dasselbe ist, wenn die Saite vermöge ihrer Beschaffenheit geneigt ist, genau denselben Ton hervorzubringen, der ihre Erzitterung veranlaßte. Bei allen andern Saiten gelangt die ihnen mitgetheilte Bewegung nicht mehr zur Erzeugung eines Tones. Was von der Saite, gilt aber auch von allen anderen elastischen Körpern. So wird die in einer Pfeife enthaltene Luftsäule durch eine tönende Stimmgabel zum Mittönen gebracht, wenn die Pfeife für sich nahe denselben Ton zu geben vermag, wie die Stimmgabel. So tönt von zwei gleichgestimmten Stimmgabeln, die auf hohlen Kästen stehen, deren Luftsäulen ebenfalls den gleichen Ton mit der Stimmgabel haben, wenn die eine angeschlagen wird, auch die andere selbst in bedeutender Entfernung mit. Aber nicht blos die Saiten oder Luftsäulen, welche den gleichen Ton haben, werden zum Mittönen angeregt, sondern auch die, welche die harmonischen Töne anzugeben fähig sind, die als Theiltöne in dem Haupttone enthalten sind, und umgekehrt wird eine Saite auch in tönende Schwingungen versetzt, wenn einer ihrer harmonischen Töne, ihre Octave, ihre Quinte oder Terz, gesungen oder sonst wie angegeben wird.

Am leichtesten entsteht die Resonanz zwischen Körpern gleichen Aggregatzustandes, also wenn ein fester Körper mit einem andern festen tönenden Körper in Berührung steht. Der Ton einer Stimmgabel, die in freier Luft gehalten wird, ist kaum hörbar; er wird aber stark, wenn die Stimmgabel auf eine Holzplatte gesetzt wird, weil sie dann ihre Schwingungen dem Holze leicht mittheilt, und dieses vermöge seiner größeren Fläche die Luft leichter in Bewegung versetzt. Diese Verstärkung des Tones durch mittönende Körper von großer Oberfläche

benutzt man bei den Resonanzböden musikalischer Instrumente. Nur Instrumente, deren Töne auf Luftschwingungen beruhen, bedürfen keiner Resonanzböden, weil die Schwingungen der Luft sich von selbst der Luft leicht mittheilen. Aber die Saiten der Geige oder des Claviers würden schwach klingen, wenn der Resonanzboden ihre Töne nicht verstärkte. Auch die Wände eines Zimmers wirken als Resonanzböden, und selbst die Mauern und Pfeiler einer Kirche erzittern unter dem Läuten der Glocken. Mit solcher Leichtigkeit findet überhaupt diese Tonerregung durch Resonanz statt, daß selbst von Natur völlig unmusikalische Köper, wie Flüssigkeiten, Bleiplatten, zum Tönen erregt werden können. So wunderbar mächtig wirkt diese sympathische Kraft im Innern der Stoffe, daß selbst zwei Uhrwerke, die an demselben Metallboden befestigt sind und nicht allzusehr im Gange von einander abweichen, allmälig einen vollkommen übereinstimmenden Gang annehmen.

Auf dieser Resonanz beruht nun auch jenes wichtige Instrument, durch welches Helmholtz neuerdings selbst das ungeübteste Ohr in den Stand gesetzt hat, die in jedem Klange enthaltenen Theiltöne laut und vernehmlich herauszuhören, der Resonator. Es ist im Wesentlichen nichts Anderes, als eine abgeschlossene Luftmasse, welche in Mitschwingungen mit gewissen Theilen eines Klanges geräth. Zu diesem Zwecke wird in einem flaschenartigen Gefäße, welches an dem einen Ende mit einer leicht erzitternden Membran überzogen ist, eine Luftmenge genau so abgemessen, daß sie, sobald sie angeblasen wird, eine ganz bestimmte, reine und unvermischte Note angiebt. Kehrt man nun jene Haut gegen einen zu untersuchenden Ton und setzt das andere offene Ende des Instruments in das Ohr ein, so wird man entweder nichts, oder den Eigenton des Resonators vernehmen. Im ersteren Falle ist in dem zu untersuchenden Klange kein Theilton enthalten, der dem Eigentone des Resonators entspricht; im letzteren Falle ist die Existenz eines solchen Nebentones außer Zweifel gesetzt. Während sonst der mitklingende Ton schwächer als der ursprüngliche Klang zu sein pflegt, wird hier durch den Resonator der an sich nicht herauszuhörende Ton so stark, daß er dem Ohre fast lästig wird. Mit Hülfe einer größeren Anzahl von Resonatoren ist man natürlich im Stande, alle Bestandtheile eines angegebenen Klanges aufzufinddn. Jeder einzelne Resonator beantwortet dann gleichsam die Frage, ob sein Ton dem Klange enthalten sei oder nicht, und indem wir unsere Aufmerksamkeit von den unhörbaren Bestandtheilen des Klanges den durch

Mitschwingen erzeugten und verstärkten Tönen zuwenden, thun wir dasselbe, wie wenn wir eine nicht sichtbare Bewegung in einem durch Hebelvorrichtungen vergrößerten Maßstabe beobachten.

Stöße und Combinationstöne.

Wenn die Erschütterungen, welche von einem tönenden Körper ausgehen, sich auch der umgebenden Luft mittheilen und dadurch zu unserem Ohre gelangen, so können sie doch hier keine Mittöne veranlassen. Denn zum Tönen gehören stehende Schwingungen, die nur in abgeschlossenen Räumen möglich sind. Gleichwohl können auch in der Luft unter Umständen Töne entstehen, die kein Instrument erzeugt hat. Wenn nämlich die Schallwellen zweier tönender Körper einander in der Luft begegnen, so werden sie zwar für gewöhnlich, wie wir gesehen haben, durch Interferenz einander nur verstärken oder schwächen. Zwei gleich hohe Töne können sogar einander völlig vernichten. Wir bemerkten das bei einer Stimmgabel, wenn wir die Kanten ihrer Zinken gegen das Ohr wendeten. Wir können uns davon in noch höherem Grade an einer Seebeck'schen Sirene überzeugen. Wenn man an der Scheibe dieser Sirene von entgegengesetzten Seiten zwei Röhren so anbringt, daß die Mündung der einen sich in demselben Augenblicke einer Lücke der Scheibe gegenüber befindet, in welcher die Mündung der anderen einer anderen Lücke, etwa der nächstfolgenden, gegenübersteht, so vernimmt man, wenn man bald durch die eine, bald durch die andere Röhre einen Luftstrom bläst, in beiden Fällen bei gleich schneller Umdrehung der Scheibe denselben Ton. Dieser Ton verschwindet aber völlig, wenn durch beide Röhren gleichzeitig mit gleicher Stärke geblasen wird. Wenn aber die Interferenz der Schallwellen bei gleich hohen Tönen nur die Verstärkung oder Vernichtung des Tones bewirkt, so erzeugt sie beim Zusammenklingen wenig von einander verschiedener Töne die sogenannten Stöße. Wenn man zwei Saiten oder, noch besser, zwei Orgelpfeifen, die in ihrer Stimmung wenig von einander abweichen, gleichzeitig tönen läßt, so vernimmt man ein abwechselndes Stärker- und Schwächerwerden, An- und Abschwellen des Tones. Wenn nämlich der eine tönende Körper in derselben Zeit genau 100 Schwingungen vollendet, in welcher der andere 101 Schwingungen macht, so werden sich nach je 100 Schwingungen des einen und je 101 Schwingungen des andern beide Körper stets in gleichen Schwingungszuständen befinden und darum die größte Verstärkung

des Tones bewirken, in der Mitte dieser Zeit aber gerade nach entgegengesetzten Richtungen schwingen und darum die größte Schwächung des Tones veranlassen. Es werden also in einer bestimmten Zeit genau so viele Stöße erfolgen, als der Unterschied der Schwingungszahlen beider tönender Körper beträgt. Dadurch gewähren sie eine große Hülfe beim Stimmen eines Claviers oder einer Orgel, wo Gehör und Uebung allein nicht leicht ausreichen. Die Zahl der Stöße nämlich, welche eine angeschlagene Saite unter dem Mitklingen einer Stimmgabel in einer Minute hören läßt, gestattet genau die Schwingungszahl der zu stimmenden Saite zu messen. Besonders stark hört man diese Stöße, dieses An- und Abschwellen des Tones an Glocken. Eine Glocke besitzt selten eine vollkommen symmetrische Gestalt, oder besteht doch selten aus einer völlig gleichförmigen Masse. Die Theile derselben tönen also auch nicht genau gleichzeitig, sondern weichen ein wenig von einander ab, und so muß dieselbe Erscheinung der Stöße eintreten, wie bei den Saiten des Claviers.

Diese Stöße sind es nun, die unter Umständen in wirkliche Töne, wahrhaft in der Luft schwebende Töne übergehen können. Töne sind allein abhängig von der Zahl der Eindrücke, welche unser Ohr in einer gewissen Zeit empfängt. Erfolgen also die Stöße so schnell auf einander, daß ihre Anzahl in der Secunde der Schwingungszahl eines Tones gleichkommt, so muß man diesen Ton auch vernehmen. Das sind die sogenannten Combinationstöne oder Tartini'schen Töne. Man kann sie sehr leicht erzeugen, wenn man auf einer Orgel zwei Pfeifen zugleich tönen läßt, die um eine Quinte aus einander liegen; man wird dann zugleich die untere Octave des tieferen Tones hören. Aehnlich wird man sie auch bei anhaltendem Streichen zweier Violinsaiten erhalten. Stets sind diese Combinationstöne tiefer, als die erzeugenden Töne, da ihre Schwingungszahl dem Unterschiede der Schwingungszahlen der beiden erzeugenden Töne entsprechen muß. Auch diese Combinationstöne können wieder mit den ursprünglichen Tönen Stöße und sogar neue Combinationstöne bilden, die freilich, immer tiefer und schwächer werdend, zuletzt vom Ohre nicht mehr vernommen werden.

Musikalische Instrumente.

Die Kunst, die Harmonie in den Körpern zu wecken, wenn die eigene des Herzens gestört ist, diese Kunst, die so alt sein mag, als

die Cultur des Menschengeschlechts, beruht, wie wir gesehen haben, im Wesentlichen darauf, gewisse gleichmäßige, gemessene Schwingungen in elastischen Körpern hervorzurufen, die sich durch ihre Umgebung dem Ohre mittheilen. Mag man die Saiten der Cither schlagen oder die Saiten der Violine mit dem Bogen streichen, mag man die gespannten Häute eines Tambourins oder einer Trommel, die Metallstäbe eines Triangels oder die Rundung einer Glocke durch Schläge erschüttern, mag man den eigenen Odem durch die elastischen Wände seines Stimmorgans oder durch metallene oder hölzerne Röhren blasen, oder mag man mit Blasebälgen gewaltige Luftmassen durch Orgelpfeifen treiben, immer sind es Schwingungen, Wellen, bald zarte, bald gewaltige, bald in der Luft, bald in festen Massen, welche als Töne in unser Ohr fließen.

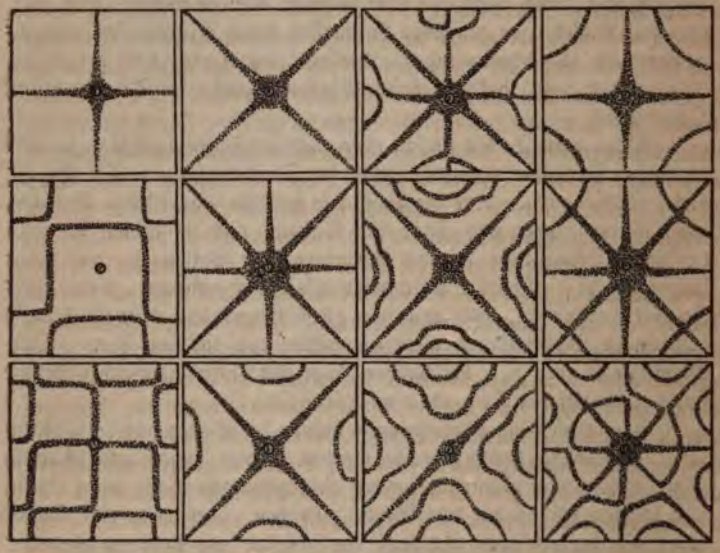
Wenn man Saiten streicht oder elastische Stäbe anschlägt, so sind es immer Querschwingungen, welche die Töne erzeugen. Die Anzahl dieser Schwingungen oder die Tonstärke steht im umgekehrten Verhältnisse zu der Länge und Dicke der Saiten, und sie nimmt im quadratischen Verhältnisse mit der Spannung der Saiten zu, mit ihrer Dichtigkeit ab. Dieselbe Saite wird also höher gestimmt, wenn man sie stärker anspannt, und von zwei gleich langen und zwei gleich stark gespannten Messingsaiten giebt die dickere den tieferen Ton. Eine Messingsaite aber giebt bei gleicher Länge und Dicke und gleicher Spannung einen tieferen Ton, als eine Darmsaite.

Aber auch Längsschwingungen können bei Saiten wie bei Stäben unter Umständen hervorgebracht werden. Jene hohen und scharfen Töne, welche man vernimmt, wenn eine gespannte Saite unter einem sehr schiefen Winkel mit dem Bogen gestrichen, oder wenn eine Glasröhre mit einem feuchten Lappen, ein Holzstab mit klebrigen Fingern gerieben wird, sind die Wirkungen solcher Längsschwingungen. Die markdurchdringende Schärfe dieser Töne macht sie freilich wenig geeignet für den Dienst der Musik.

Nächst den schwingenden Saiten und Stäben sind es besonders elastische Platten und gespannte Häute, durch deren Schwingungen die Musik Töne erzeugt. Diese Platten zerlegen sich dabei in mehrere schwingende Abtheilungen, die durch Ruhelinien oder Knotenlinien von einander getrennt sind. Man kann diese Ruhelinien sehr leicht dadurch sichtbar machen, daß man feinen Sand auf die tönende Platte wirft, der dann von den schwingenden Flächen fortgeschleudert wird und, auf der Oberfläche der Platte hingleitend, sich endlich in den

Ruhelinien ansammelt. So entstehen jene merkwürdigen Klangfiguren, welche Chladni zuerst wahrnahm. Ihre Lage und Form ist natürlich theils von der Gestalt der Platte abhängig, theils von der Art ihrer Unterstützung und Befestigung, theils von der Lage des Punktes oder der Punkte, an welchen sie durch das Streichen eines Violinbogens erschüttert wird. So zeigt die erste Figur (Fig. 86) die

Fig. 86.



Klangfigur einer quadratischen Platte, welche in ihrer Mitte unterstützt und an einer Ecke gestrichen wird, während die zweite Figur durch Streichen an einer Seite entsteht. Eine und dieselbe Klangfigur entspricht stets für eine bestimmte Platte demselben Tone, aber nicht umgekehrt; ein und derselbe Ton kann durch verschiedene Klangfiguren bezeichnet werden. In je mehr Theile sich eine Platte durch die Schwingungen zerlegt, und je näher die Schwerpunkte der schwingenden Abtheilungen an den Rand gerückt werden, um so höher ist im Allgemeinen der Ton der Platte. So ist der Ton, welcher der zweiten Klangfigur entspricht, die Quinte des Tones der ersten, der Ton der 4ten Figur ist um 2 Octaven und eine große Quarte, der 7ten um

3 Octaven und 1 Quarte höher als der Grundton. Ueberhaupt steht jede Klangfigur in einem bestimmten Tonverhältnisse zu den übrigen. Wenn auch ein eigentliches Gesetz über den Zusammenhang zwischen Klangfigur und Tonhöhe noch nicht aufgefunden ist, so muß doch die Anordnung der Knotenlinien stets eine symmetrische sein, wenn ein reiner Ton hervorgebracht werden soll.

Auch Glocken sind schwingende Platten, wenn auch gekrümmte, und auch sie schwingen niemals als Ganzes. Wird eine Glocke irgend wo am Umfange angeschlagen, so theilt sie sich in vier Theile, die durch zwei im Knopfe sich kreuzende Knotenlinien getrennt werden. Schwingt eine Glocke in mehr als 4 Theilen, wie es geschieht, wenn man sie an zwei Stellen mit den Fingern berührt und dazwischen mit dem Bogen streicht, so wird der Ton der Glocke um so höher. Die Knotenlinien einer tönenden Glocke kann man übrigens recht gut sichtbar machen, wenn man sie bis zu einer gewissen Höhe mit Wasser füllt. Das Wasser geräth dann in Mitschwingung und zeigt durch seine Wellen deutlich die Lage der schwingenden und ruhenden Theile der Glocke an.

Wenn tönende Platten ihre Schwingungen in symmetrischen Figuren sichtbar machen, wenn wir selbst noch die Schwingungen der Saiten mit dem Auge verfolgen können, so ist es anders mit den Schwingungen, in welchen die Luft erzittert, wenn sie tönende Röhren durchströmt. Nichts verräth mehr äußerlich diese Schwingungen, es wäre denn die Erschütterung der Wände, zwischen denen der Ton hervordringt, und das Mittönen dieser Wände. Jedenfalls war die Erfindung der Blasinstrumente eine hohe Vollendung der musikalischen Kunst. Hier ist es gewissermaßen die menschliche Seele selbst, die in die tönende Röhre strömt. Stärke und Höhe des Tones liegen unmittelbar in ihrer Gewalt und können nach der Empfindung abgemessen werden. Der Klang der Saiteninstrumente ist nur beim Anschlage das, was er sein soll, und erhält erst durch seine Mischung mit jenen luftigen Tönen seinen eigenthümlichen Reiz. Der griechische Mythus vom Wettstreite des Marsyas und Apollo spricht das in herrlicher Weise aus. Marsyas besiegt durch sein Flötenspiel den die Cither spielenden Apollo; aber Apollo erringt den Preis, indem er zur Cither singt.

Gerade die Luft eignet sich ganz besonders zur Tonerzeugung, weil sie unter allen bekannten Körpern die größte Elasticität besitzt. Ist es also möglich, eine von einer Röhre umschlossene Luftsäule in abgemessene Schwingungen zu versetzen, so ist ein musikalisches Instru-

ment gegeben, das am wenigsten von den Unvollkommenheiten des schwingenden Materials berührt ist, da die Röhre nur einen untergeordneten Theil an den Schwingungen hat. Eine solche Luftsäule muß aber genau nach denselben Gesetzen schwingen, wie die tönende Saite; nur werden ihre Schwingungen anderer Art, nicht Querschwingungen, sondern Längsschwingungen, nämlich wechselnde Verdichtungen und Verdünnungen sein. Die Höhe der Töne muß auch hier in einem ganz bestimmten Verhältnisse zur Länge der schwingenden Luftsäule stehen, da die Höhe des Tones ja nur durch die Zahl der Eindrücke bestimmt wird, welche in gleicher Zeit in unser Ohr gelangen. Die Erfahrung, daß die verschiedene Länge der Luftsäule die Höhe des Tones verändere, mußte zunächst natürlich an einzelnen Rohrpfeifen gemacht werden, die, je nachdem sie länger oder kürzer geschnitten waren, tiefer oder höher klangen. So wird die Erfindung der Panpfeife, wie sie uns die griechische Sage erzählt, noch heute in jedem Frühlinge von unserer Jugend wiederholt. Aber dieses dürftige, unbeholfene Instrument, wie es sich die Kinder zusammensetzen, oder wie es bisweilen von umherziehenden Bettlern auf der Straße gespielt wird, ist das Urbild zu einer der bedeutendsten Erfindungen der Tonkunst, unserer herrlichen Orgel.

Bei der Einfachheit der Bedingungen für die Tonerzeugung in Pfeifen scheint es im ersten Augenblicke, als ob eine große Mannigfaltigkeit musikalischer Töne hier kaum in geeigneter Weise erzielt werden könne. Der schmale Luftstrom, durch dessen Einblasen wir die schwingende Bewegung der eingeschlossenen Luftsäule anregen, sei es bei Orgelpfeifen oder bei künstlich gearbeiteten Flöten und Hörnern, oder bei jenen kleinen kunstlosen Pfeifen, die der Knabe sich aus Weidenrinde schneidet, kann an sich immer nur, wie der Anschlag einer einzelnen Saite, einen einzigen, der Länge der schwingenden Luftsäule entsprechenden Ton hervorrufen. Aber es giebt Mittel, die tönende Luftsäule zu verlängern oder zu verkürzen, oder gleich der tönenden Saite in schwingende Theile und Schwingungsknoten zu zerlegen.

Das einfachste Mittel, die schwingende Luftsäule in einer Pfeife zu verlängern oder zu verkürzen und dadurch tiefere oder höhere Töne zu erzeugen, besteht darin, daß man Oeffnungen in den Seitenwänden der Pfeife anbringt, durch deren beliebiges Oeffnen und Schließen man den Schwingungen willkürlich Grenzen setzen kann. Darauf beruht die Einrichtung der Flöte, der Clarinette und ähnlicher Instru-

mente. Ein anderes Mittel ist die Verlängerung des Rohres selbst durch Ausziehen eines Einsatzrohres, wie es bei der Posaune üblich ist. Da eine schwingende Luftsäule sich genau wie ein schwingender Stab verhält, so muß auch eine Einrichtung, welche der Einklemmung des Stabes an einem Ende entspricht, dieselbe Wirkung ausüben. Diese Wirkung ist aber bei dem Stabe eine Verminderung der Schwingungszahl auf die Hälfte, also eine Herabstimmung des Tones um eine Octave. Denn ein freischwingender Stab bildet seinen Schwingungsknoten in der Mitte, während die Befestigung seines Endes den Schwingungsknoten an dieses Ende rückt. Was nun beim Stabe durch Einklemmung, wird bei der Pfeife durch Verschließen der unteren Oeffnung erreicht. Eine gedeckte, d. h. geschlossene Pfeife giebt einen um eine ganze Octave tieferen Ton, als eine offene Pfeife von gleicher Länge. Durch theilweise Deckungen hat man es in der Gewalt, beliebige Erhöhungen und Vertiefungen des Tones zu bewirken. Schon die bloße Erweiterung einer offenen Pfeife gegen das Ende hin genügt, um einen höheren Ton zu erzeugen, als der Pfeife mit parallelen Wänden für dieselbe Länge zukommt, während eine Verengerung einen tieferen Ton zur Folge haben muß.

Das wichtigste Geheimniß der Tonveränderung in einer und derselben Pfeife beruht aber auf dem Einflusse des Mundloches und der Stärke des Anblasens auf die Höhe und Tiefe der Töne. Die Stärke des Anblasens ist es, welche die Zahl der Schwingungsknoten, die sich in der Luftsäule bilden, bedingt. Die Gesetze, nach denen die Schwingungsknoten sich bilden, sind dieselben, wie bei der Harmonie der Saiten. Eine offene Pfeife, welche bei schwachem Anblasen den Grundton giebt, läßt bei verstärktem Blasen nach einander die Octave, dann die Quinte der Octave, die doppelte Octave u. s. w. hören. also Töne, deren Schwingungszahlen sich wie 1 .. 2 .. 3 .. 4 u. s. w, verhalten, der Zahl der gebildeten Schwingungsknoten entsprechend. Bei der gedeckten Pfeife erzeugt das verstärkte Anblasen zuerst die Quinte der Octave, dann die Terz der doppelten Octave u. s. w., also Töne, deren Schwingungszahlen sich wie 1 .. 3 .. 5 u. s. w. verhalten. So wird es begreiflich, wie selbst ohne Hülfe von Seitenöffnungen, z. B. bei Hörnern und Trompeten, nur durch die stärkere Spannung der Lippen und das schnellere Blasen des Mundes eine Mannigfaltigkeit von Tönen hervorgebracht werden kann.

Nicht immer werden die Schwingungen der eingeschlossenen Luftsäule in Pfeifen unmittelbar durch den eingeblasenen Luftstrom hervor-

gerufen, sondern bisweilen erst durch die Schwingungen eines elastischen Blättchens, einer sogenannten Zunge, vermittelt. Bei diesen Zungenpfeifen, wie sie Jedem schon von der blechernen Kindertrompete her bekannt sind, wie sie aber vollendeter die Clarinette, Hoboe, das Fagot und die Schnarrwerke der Orgel uns zeigen, ist die Höhe und Tiefe des Tones hauptsächlich durch die Schwingungen des Blättchens, also durch seine Länge und seine Geschwindigkeit bestimmt. Die Länge der Pfeife ist jedoch insofern von Einfluß, als nach dem Gesetze der Harmonie zwischen ihr und den Schwingungen der Zunge ein gewisses Verhältniß stattfinden muß, wenn daraus ein völlig reinklingender Ton hervorgehen soll. Der Ton einer Zungenpfeife gehört stets einer Tonreihe an, welche die für sich schwingende Luftsäule der Pfeife erzeugen könnte, und zwar ist er entweder genau derselbe oder der nächst tiefere von dem Tone, welchen die für sich schwingende Zunge giebt.

Da es die Luft ist, die in den Blasinstrumenten durch ihre Schwingungen die Töne erzeugt, so sollte man meinen, daß sie von den störenden Einflüssen der Ungleichheit und Fehlerhaftigkeit des Materials, wie sie bei andern Instrumenten hervortreten, unberührt bleiben müßten. Dies ist gleichwohl nicht ganz der Fall. Jeder Musiker weiß es, daß seine Flöte nicht immer den gleichen Ton hat, daß sie nach Ort und Zeit verschiedene Stimmungen annimmt. Und doch ist ihre Länge im Wesentlichen unverändert und ebenso die Länge der Luftsäule, die darin schwingt. Aber die Luft selbst darin ist eine andere geworden, und ihre Bereitwilligkeit, zu schwingen, sowie die Lebendigkeit und Geschwindigkeit ihrer Schwingungen. Die Geschwindigkeit der Luftschwingungen hängt nämlich von der Elasticität der Luft ab, dieser Grundbedingung alles Tönens. Diese Elasticität bleibt nun zwar unverändert, mag die Luft dichter oder dünner werden, sie wächst aber in wärmerer und nimmt ab in kälterer Luft. Darum wächst aber auch die Geschwindigkeit der Schwingungen und damit die Tonhöhe in wärmerer Luft. Obwohl es also scheinen könnte, als ob die Ausdehnung, welche die stoffliche Hülle der Flöte in der Wärme erleidet, durch Verlängerung der Luftsäule den Ton vertiefen müßte, erklingt doch der Ton der Flöte in wärmerer Luft höher als in kälterer, weil die Elasticität der tönenden Luft beträchtlicher gewachsen ist.

Aber noch andere Einflüsse wirken auf den Klang des Blasinstrumentes ein. Es ist nicht die Luft allein, die tönt; auch die umschließenden Wände, auch die stoffliche Hülle nimmt Theil an ihren Schwingungen, und die mittönenden Wände verschmelzen ihre Klänge

mit denen der tönenden Luftsäule. Darum unterscheidet sich der Ton der hölzernen Flöte von dem der blechernen, klingt die Flöte aus Fichtenholz anders, als die aus Buchsbaum- oder Ebenholz. Darum ist der Klang einer silbernen Trompete heller und schmetternder, als der einer messingenen. Darum tönen Flöten aus zu dickem Holze dumpf und klanglos, während allzu dünne Orgelpfeifen einen schreienden Ton geben. Erfahrene Musiker wissen sogar, daß feuchte Flöten in [redacted] Tönen klingen, als völlig trockene.

Die menschliche Stimme.

Wenn im Klange der Instrumente gleichsam die innere Natur der Körper zu unserer Seele spricht, so ist es im Gesange das innere Leben des Menschen selbst, das durch das Ohr zum Herzen dringt, seine eigene laut werdende Stimmung, die verwandte Stimmungen in dem Hörer erweckt. Auch die Musik ist eine Sprache des Menschen und in ihren Wirkungen oft mächtiger, als die glühendste Beredtsamkeit. Aber die tiefste, die seelenvollste Musik liegt in der menschlichen Stimme. Noch heute ist sie es, die den Zauber eines Orpheus übt, noch heute vermag eine Kinderstimme die wilden Bestien der Leidenschaft zu besänftigen und die Schatten längst abgeschiedener Empfindungen aus der Unterwelt des Herzens heraufzubeschwören. Nicht in den Worten aber, im Laute, im Klange ruht vornehmlich diese Macht. Durch die Worte äußern wir niemals Gefühle, sondern nur die Gedanken, welche, durch sie angeregt und von ihnen getragen, durch unsere Seele sich drängen. Nur die Kindheit hat noch das Vorrecht, Gefühle laut werden zu lassen. Wir haben diese Gefühlswelt mit ihren unbewußten Stimmungen und unerklärten Ahnungen tief in den Hintergrund der Seele zurückgedrängt. Hier ruht sie, ein wogendes Meer, auf dem gleich segelnden Schiffen die Gedanken auf- und niedertauchen; die Wogen dieses Meeres schlagen an das Ufer und verändern seine Formen, die Züge des Gesichts; die Stimme aber ist der Nachhall der brandenden Wogen.

Die Natur konnte ihre tönenden Instrumente nicht nach andern Regeln und Gesetzen bauen, als sie die menschliche Kunst im Laufe der Jahrtausende entdeckt und in ihren Instrumenten in Anwendung gebracht hat. Auch die menschliche Stimme ist das Erzeugniß eines Mechanismus, der durch Muskeln bewegt wird, welche gewisse elastische Körper in Spannung versetzen, so daß sie in ihrem Rückschwunge

Luftmassen bewegen und Schwingungen erzeugen, die zu Tönen werden, wie die Schwingungen von Saiten, wenn ein Luftstrom zwischen denselben hindurchstreicht.

Gleich einem Blasebalge werden die Lungen des Menschen durch die elastische Brustwandung und die Bauchmuskeln beim Athmen bald verengt, bald erweitert, und treiben so die Luft gewaltsam durch die Luftröhre und den Kehlkopf. Der Kehlkopf, dieses eigentliche musikalische Instrument des Menschen, besteht aus mehreren Knorpelstücken: dem Ringknorpel (a, Fig. 87), dem Schildknorpel (b) und dem Gießkannenknorpel (c). Die sein Inneres bekleidende Schleimhaut bildet

Fig. 87.

Fig. 88.

gegen die Mitte hin zwei große Seitenfalten, die von vorn nach hinten gerichtet sind und, wenn man den Kehlkopf von oben betrachtet (Fig. 88), fast den Rändern eines Knopfloches gleichen. Das sind die sogenannten Stimmbänder (e), die um so länger sind, je mehr der vordere Theil des Schildknorpels, der Adamsapfel, an welchen sie angeheftet sind, hervorspringt. Ein im Innern des Kehlkopfs liegender Muskel in Verbindung mit den Gießkannenknorpeln, an welche die Stimmbänder hinten befestigt sind, gestattet denselben, sich mehr oder weniger anzuspannen, sich zu verlängern oder zu verkürzen und so die zwischenliegende Spalte bald zu verlängern, bald zu erweitern. Ueber den Stimmbändern bildet die Schleimhaut des Kehlkopfes zwei andere ähnliche Falten, die oberen Stimmbänder oder Taschenbänder (d), und

der Raum zwiſchen dieſen vier Falten iſt die Stimmritze, welche der an die Zungenwurzel geheftete Kehldeckel (c), indem er ſich in ſchiefer Richtung hebt und ſenkt, beim Verſchlucken der Nahrung ſchützt.

So lange die Luft aus den Lungen frei durch den Kehlkopf ſtrömt, vernimmt man keinen Ton, höchſtens einen Hauch. Wenn aber die Muskeln des Kehlkopfes ſich zuſammenziehen, ſo werden die Stimmbänder geſpannt und gerathen nun, wenn die Luft an ihnen vorüberſtreicht, in jene wellenförmige Erzitterung, die ſich durch Töne kundgiebt. Je ſtärker die Stimmbänder angeſpannt werden, deſto höher werden die Töne, und je ſtärker die Luft durch die verengte Stimmritze getrieben wird, deſto kräftiger erklingen die Töne. Bei der Falſetſtimme ſind es nur die vorderen freien Ränder der Stimmbänder, welche in Schwingungen verſetzt werden, und es bedarf daher einer weit ſtärkeren Spannung der ganzen Stimmbänder, wenn derſelbe Ton durch die Kopf- oder Falſetſtimme, als wenn er durch die Bruſtſtimme angegeben werden ſoll.

Die Stimmbänder gleichen alſo ganz den Saiten einer Guitarre, deren Töne durch Verkürzung oder ſtärkere Spannung erhöht werden. Noch beſſer kann man das menſchliche Stimmorgan mit einer Zungenpfeife vergleichen. Von der Fähigkeit, die Stimmritze zu erweitern und zu verengen, hängt der Umfang der menſchlichen Stimme ab, der zwiſchen 1 bis 3 Octaven ſchwankt, gewöhnlich $2^1/_2$ Octaven beträgt. Beim Manne geht die Stimme in der Regel vom g bis zum zweigeſtrichenenen g, bei Frauen vom eingeſtrichenen a bis zum dreigeſtrichenen c. Die männliche Stimme liegt alſo immer viel tiefer als die weibliche. Dieſer Unterſchied zwiſchen Männer-, Frauen- und Kinderſtimmen beruht hauptſächlich auf der urſprünglichen Länge der Stimmbänder. Während die mittlere Länge der Stimmbänder beim Manne in der Ruhe $18^1/_4$ Millimeter ($8^1/_4$ pr. Linien), in der größten Spannung $23^1/_6$ Mill. ($10^1/_2$ Lin.) beträgt, ſchwankt ſie beim Weibe zwiſchen $12^2/_3$ und $15^2/_3$ Mill. ($5^3/_4$ und 7 Lin.), bei dem 14jährigen Knaben zwiſchen $10^1/_2$ und $14^1/_2$ Mill. ($4^3/_4$ und $6^1/_2$ Lin.). Der Klang der Stimme wird, ähnlich wie bei den muſikaliſchen Inſtrumenten durch die Natur der mitklingenden Körper, beſonders durch die Härte der Kehlkopfknorpel bedingt. Bei Frauen und Kindern ſind dieſe Knorpel biegſam und weich, bei Männern und ſolchen Frauen, deren Stimme männlich klingt, hart und oft faſt verknöchert. Mund-, Rachen- und Naſenhöhle endlich bilden die Reſonanzhöhlen der menſchlichen Stimme, während Gaumen, Zähne, Zunge und Lippen durch ihre

mannigfaltige Stellung und Bewegung die Gestaltung der Töne zu jenen Lauten bewirken, aus denen die menschliche Sprache sich zusammensetzt.

Jeder Laut der menschlichen Stimme ist also das Erzeugniß eines unbewußt von innen heraus geleiteten Spieles jenes musikalischen Instrumentes, womit die Natur den Menschen ausstattete; er ist das Erzeugniß einer Muskelbewegung, welche, wie durch das ganze weite Reich der lebendigen Natur, in Wellenbewegungen das innere Leben enthüllt, ihm Ausdruck und Sprache verleiht. Wie man darum aus anderen Muskelbewegungen, etwa aus dem Spiele der Augen- oder Gesichtsmuskeln die inneren Zustände des Andern zu errathen vermag, so schließt man auch aus den Tönen, welche das Spiel der Athem- und Kehlkopfsmuskeln erzeugt, aus ihrem Klange, ihrer Höhe und Tiefe, Stärke und Schwäche und aus der Schnelligkeit oder Langsamkeit ihres Wechsels auf die Stimmungen zurück, denen sie ihr Entstehen verdanken. Darin beruht die geheime Zaubermacht der menschlichen Stimme.

In Trauer und Schmerz erschlaffen, wie die Gesichtszüge, auch die Stimmbänder, und dumpf und tief werden die Töne. Wie die Muskeln des Gesichts, erreichen auch die Stimmmuskeln ihre höchste Spannung in der Exaltation des Jubels und der Begeisterung und verkünden sie in lauten und hohen Tönen. Je höher die Erregung der Leidenschaft, desto mehr Muskeln setzt sie in Bewegung. Da werden nicht blos die Kiefer zusammengepreßt, die Hände gerungen, die Fäuste geballt, da werden auch die Stimmbänder gespannt, und der durch die verengte Stimmritze hervorgepreßte Luftstrom erzeugt die bekannten hohen und starken Töne der Leidenschaft und Wuth. Wenn die überspannte Kraft sinkt, und der Muth zur Bekämpfung der Widerstände erschlafft, dann erschlaffen, wie die herabsinkenden Arme, auch die Stimmbänder, und aus der erweiterten Stimmritze dringen dumpfe und tiefe Töne hervor.

Auf diesem innigen Zusammenhange zwischen unserer Stimmung und unsern Stimmwerkzeugen beruht die ansteckende Macht der Töne, das Mitklingen des Jubels und der Klage. Darauf beruht jene Gewalt der Musik über das menschliche Herz, durch welche sie, aus todten, seelenlosen Stoffen strömend, im Wechsel von hohen und tiefen, starken und schwachen, an- und abschwellenden, con- und dissonirenden Tönen unsere Stimmungen zu beherrschen, zu wecken und zu vernichten weiß. Es ist, als ob unser Gemüth die Welt der Töne nicht anders in sich

aufzunehmen vermöchte, als wenn es sich in Zustände versetzt, die ihrem Entstehen entsprechen.

So ist die Musik in der That mehr, als was Oerstedt im Sinne jener alten Lehre sagt, die den Grund der Harmonie nur in der Einfachheit mathematischer Verhältnisse erblickt, mehr als ein „heimliches, unbewußtes Zählen der Seele." Sie ist ein Mitwogen und Mittönen der Seele, und ihre Wirkung bedingt durch die gemeinsame Harmonie, das gemeinsame Gesetz draußen und drinnen. Die Musik ist ein Bewußtwerden der inneren Harmonie mit der Natur.

Sechstes Kapitel.

Die Farben.

Wie der tönende Körper seine eigenen Erzitterungen auf seine ganze Umgebung überträgt und in den Körpern stehende Wellen erregt, die sie zum Mittönen veranlassen, so bewegen die Schwingungen des leuchtenden Körpers das weite Aethermeer, dessen Wellenschlag die Körper, die in seine Fluthen tauchen, zu gleichen leuchtenden Schwingungen anregt. Die zarten Nervenhäute unseres Auges werden berührt von diesen flüchtigen Wellen, und der Eindruck, den sie empfangen, wird von ihnen als farbiges Licht empfunden.

Was der Aether selbst sei, der diese Lichtwellen trägt, hat die Wissenschaft noch nicht ergründet. Nur ein Stoff muß es sein, der, fähig der außerordentlichsten Geschwindigkeit des Bewegens, die weiten Räume des Fixsternhimmels ebenso erfüllt, wie unsere irdischen Räume, ein Stoff, der, Alles durchdringend und in steter Erzitterung, durch die vermeintlich leeren Räume des Weltalls die Brücke bildet zu unserem Auge. Noch hat kein Chemiker diesen Aether analysirt, kein Physiker ihn gewogen; aber die Wissenschaft hat dennoch die Bahnen seiner kleinsten Theilchen, ihre Form und ihre Richtung mit derselben Genauigkeit und mit derselben Zuversicht auf die bestätigende Antwort der Natur bestimmt, wie der Astronom die Bahnen der Himmelskörper zeichnet, gestützt auf die Gesetze der allgemeinen Gravitation.

Wohl selten ward der Anschauung eine stärkere Umwälzung zugemuthet, als durch die Lehre der neueren Physik, welche den Körpern

ihr altes Anrecht auf die Farben bestreitet und diese zu einem bloßen Erzeugniß einer Bewegung macht. Sonst gehörte das Grün wirklich den Saaten, wirklich dem jungen Laube, das Blau dem Himmel, das Gelb und Roth den Blumen an; es war ihr Schmuck, der Ausdruck ihres innersten Wesens. Die Wissenschaft hat die Dinge ihrer bunten Lebensgewänder entkleidet; nur ihre kalten, gespensterhaften Formen scheinen zurückgeblieben. Und doch waren diese Farben gleichsam nur ein Vorhang, der eine Stätte reichen Lebens und Bewegens verdeckte.

Wohl begreiflich ist allerdings der Groll unseres großen Goethe gegen den Schöpfer der heutigen Naturwissenschaft, den großen Newton, welcher jenen Vorhang zerriß. Es liegt in der Eigenthümlichkeit des dichterischen Wesens und ist eine Forderung des dichterischen Genius, daß er stets die volle Energie der sinnlichen Erscheinung festzuhalten strebt; — muß er doch selbst das Geistige in sinnliche Formen kleiden, um ihm die Frische und Lebendigkeit der Anschauung zu verleihen! Goethe's dichterisches Gemüth war verletzt durch die rauhen Eingriffe des kalten, berechnenden Verstandes in das warme Leben. Er, dem überall die Anschauung als das Höchste galt, der überall den frischen, unmittelbaren Genuß verlangte, sah hier durch einen Federstrich des Mathematikers das schönste Geschenk der Natur, die Farbe, vernichtet, sah den einfachen, ganzen Lichtstrahl vor seinen Augen zerstückelt, aufgelöst. Die innersten Tiefen des Dichters schäumten auf gegen eine solche mathematisch-mechanische Ansicht von der Natur, und jene Wellenbewegung des Lichtes, wie sie die heutige Wissenschaft lehrt, konnte ihn nur an das „häßliche Stoßen und Drängen" erinnern, das ihm schon den Plutonismus in der Entwickelungsgeschichte der Erde verleidet hatte. Aber die Poesie ist keineswegs so, wie er meinte, in der Wissenschaft untergegangen; neugeboren, verklärt ist sie aus der verzehrenden Flamme emporgetaucht. Aus der vernichteten Anschauung der früheren Jahrhunderte erstand der tiefpoetische Gedanke, der das Licht in eine Farbenmusik, in ein Reich sichtbarer Töne verwandelt.

Wie die Schallwellen an die Nervenhäute des Ohres, so schlagen nach der heutigen Lehre die Wellenzüge des Aethermeeres an die Nervenflächen des Auges. Bald weiter, bald kürzer greifen diese Wellen in ihren Schwingungen aus, als ob bald ein Sturm sie triebe, bald ein sanfter Zephyr über sie hinhauchte. Bald stärker, bald schwächer empfinden wir diesen Wellenschlag, wie die bald mächtig schwellenden, bald leise ersterbenden Töne, welche den Saiten die stärkere oder leisere

Berührung der Hand entlockt. Bald stürzen diese Wellen schnell und in kurzen Stößen daher, bald schleichen sie träge in langen Zügen zum Ufer, und wie hohe und tiefe Töne das Ohr, so empfindet bunte Farben das Auge. Wie Töne nur Empfindungen sind, welche Schallwellenzüge von verschiedener Schwingungsdauer und Wellenlänge im Ohre erregen, so sind für das Auge die Farben Empfindungen derselben Verschiedenheiten im Wellengebiete des Lichts.

Die Farbenzerstreuung des Lichts.

Wie im Reiche der Töne, herrschen auch im Reiche der Farben Zahlenverhältnisse, die ebenso die Bewegungen des Aethers, wie die zarten Bewegungen unseres Hirns messen, die wir als Empfindung bezeichnen. Wie langsameren Schallschwingungen tiefere, schnelleren höhere Töne entsprechen, wie ein Ton, der in gleicher Zeit doppelt so viele Schwingungen macht, als ein anderer, uns als dessen Octave, ein Ton, welcher je drei Schwingungen auf je zwei eines andern macht, als dessen Quinte erscheint, so empfinden wir die am langsamsten schwingenden Lichtwellen als roth, die am schnellsten schwingenden als violett. Das Auge zählt wie das Ohr, zählt im wunderbar schnellen Fluge des Lichts die kleinen Anstöße, die nicht einmal, wie die groben Erzitterungen der tönenden Saite, in ihren mechanischen Wirkungen zu erfassen sind, und deren eine einzige Secunde viele Billionen umfaßt. Aber um wie viel das Auge in dieser Feinheit des Zählens das Ohr übertrifft, das nur wenige Tausende von Schwingungen in der Secunde noch zu erfassen vermag, ebenso weit steht es hinter ihm zurück in Betreff der Grenzen, innerhalb welcher es diese Geschicklichkeit ausübt. Das Reich der Töne umfaßt 9—11 Octaven, aber das Auge bewegt sich höchstens in den Grenzen einer Sexte oder Septime, wenn es vom äußersten Roth bis zum äußersten Violett schweift.

Aber auch innerhalb dieser engen Grenzen besteht eine reiche Mannigfaltigkeit von Verhältnissen. Nicht eintönig klingt jene Sphärenmusik, von welcher schon die Alten ahnungslos träumten. Zahlreiche Schwingungen von verschiedener Geschwindigkeit und verschiedener Weite erfüllen beständig den Weltraum, und selbst das einfarbige Licht, das wir zu erblicken meinen, ist nur die vereinigte Wirkung vielfacher verschiedener Wellen. Freilich besitzt das Auge nicht die wunderbare Fertigkeit des Ohres, die wirkenden Elemente in solchen Eindrücken zu scheiden. Unser Auge vermag nicht das einfache Orange

von der Mischung von Roth und Gelb, oder von Roth, Orange und Gelb zu unterscheiden, wie doch das Ohr sehr wohl den einfachen Ton E von der kleinen Terz D F oder der doppelten Dissonanz D E F zu scheiden weiß. Aber das ist nur eine Eigenthümlichkeit unseres Sinnes, unserer empfindenden Nerven, nicht der schwingenden Bewegung selbst.

Indeß, auch für unser Ohr giebt es Verhältnisse, wo es nicht mehr im Stande ist, seine gleichzeitigen Empfindungen zu sondern. Kein musikalisches Ohr vermag aus dem Brausen der Meeresbrandung die Töne herauszuhören, die es zusammensetzen. Zu zahlreich sind die sich kreuzenden Systeme von Schallwellen, zu verschieden an Schwingungsdauer und Stärke diese Wellen selbst, die von den millionenfach zerrissenen, hin und her geschleuderten Wassertheilchen angeregt und von der wildbewegten Luft mit empfunden und fortgetragen werden, als daß unsere Sinne eine Ordnung darin erfassen, ein Einzelnes darin unterscheiden könnten. Aber diese Ordnung stellt sich her, wenn eine breite Felsenmauer am Ufer diese Wellen zurückwirft, so daß die einzelnen Wellensysteme in verschiedener Entfernung von der Mauer zur Interferenz kommen und in ihrer Begegnung einander theils aufheben, theils verstärken. Das Ohr hört jetzt die einzelnen Töne des wilden Gebrauses. Eines ähnlichen Mittels bedarf es nun auch, um die mannigfaltigen Wellensysteme, welche von einem leuchtenden Körper ausgehen, dessen Oberfläche wir uns ja auch in ähnlicher unregelmäßiger Erzitterung wie die Wassertheilchen der Brandung denken müssen, nach ihrer Schwingungsdauer zu ordnen, so daß die gleichen Wellen getrennt von den andern ihren eigenen Weg einschlagen und getrennt empfunden werden können. Es bedarf eines Mittels, welches das Lichtgebrause, das wir weißes Licht nennen, ebenso in einfache Farben zerlegt, wie der Wiederhall der Mauer das Brausen der Brandung in Töne zerlegte.

Daß es ein solches Mittel giebt, deutet uns die Natur in ihrem Regenbogen an, wenn die dunkle Regenwolke das farblose Sonnenlicht in so wunderbarer Farbenpracht zurückwirft. Es ist dieselbe Erscheinung, der wir in dem Staubregen eines Wasserfalles oder eines Springbrunnens oder in dem Sprühregen begegnen, der von den Schaufelrädern eines Dampfschiffes träufelt, wenn das Sonnenlicht darauf fällt. Es ist dieselbe Erscheinung, die jeder Thautropfen im Grase in seinem überraschenden Farbenspiele uns entgegenfunkelt. Es ist *dieselbe Erscheinung*, welche das Kind entzückt, wenn es die Gegenstände

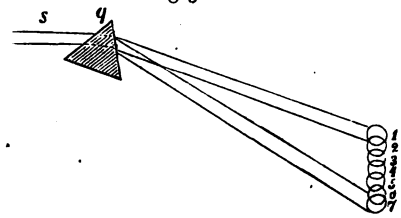
durch ein kleines polyedrisch geschliffenes Glas betrachtet und sie mit farbigen Rändern umsäumt sieht. Die Veränderung aber, die das Licht in diesen Wassertropfen oder Gläsern, die es überhaupt bei jedem Durchgange durch ein Mittel von anderer Dichtigkeit erleidet, ist die bekannte Brechung.

Die Brechung eines Lichtstrahls ist nichts Anderes, als eine Ablenkung desselben aus seiner Richtung und ist gleichbedeutend mit einer Veränderung in der Geschwindigkeit der Lichtwelle unter dem Einflusse des entgegenstehenden Mittels. Die Entstehung der Farben kann also nur auf Verschiedenheiten in der Brechung oder Ablenkung beruhen, und es müssen daher nothwendig schon in dem anscheinend einfachen weißen Sonnenstrahle Wellen von verschiedener Geschwindigkeit vorhanden sein, so daß ihre Geschwindigkeit in verschiedenem Grade vermindert oder vermehrt wird und dadurch auch ihre Wege sich trennen. Ist das nämlich der Fall, so werden von diesen Wellen beim Uebergange aus einem dünneren in ein dichteres Mittel offenbar die schnellsten Wellen die größte, die langsamsten die geringste Verminderung ihrer Geschwindigkeit erfahren. Hängt nun aber, wie bereits gezeigt wurde, die Größe der Brechung oder Ablenkung eines Lichtstrahls beim Eintritt aus einem Mittel in das andere von dem Verhältnisse der Geschwindigkeiten ab, mit welchen er in dem einen oder dem andern Mittel zu schwingen vermag, so müssen auch die am schnellsten schwingenden Strahlen, als die am meisten verzögerten, am stärksten, die am langsamsten schwingenden Strahlen am schwächsten gebrochen werden. Die Geschwindigkeit der Wellen aber, d. h. ihrer Theilchenschwingung, nicht ihrer Fortpflanzung, hängt wieder von der Breite der Wellen ab, oder ist vielmehr gleichbedeutend mit dieser. Den schneller schwingenden Strahlen gehört eine größere, den langsamer schwingenden eine kleinere Wellenbreite zu. So ergiebt sich das überraschende Resultat, daß Farbe, Brechbarkeit und Wellenbreite in der wissenschaftlichen Sprache des Lichts als völlig gleichbedeutende Ausdrücke erscheinen. Farbige Strahlen sind nichts Anderes, als verschieden brechbare Strahlen, oder Strahlen von verschiedener Wellenbreite.

Die Versuche, auf welche diese interessante Lehre von der Zerstreuung des weißen Lichtes in Farben sich gründet, sind zuerst von Newton im Jahre 1666 angestellt worden. Wenn man einen Sonnenstrahl oder doch ein möglichst kleines Strahlenbündel durch eine kleine Oeffnung in ein dunkles Zimmer fallen läßt, so erscheint auf

einem gegenüberstehenden weißen Schirme ein kleines, rundes, weißes Sonnenbild. Nun besitzt, wie früher gezeigt wurde, ein dreiseitiges Glasprisma die Eigenschaft, Lichtstrahlen durch Brechung abzulenken, und zwar nach unten, wenn der brechende Winkel des Prismas nach oben gekehrt ist. Hält man aber dieses Prisma hinter jene Oeffnung, so daß das Strahlenbündel, welches in das dunkle Zimmer eintritt, durch dasselbe hindurchgehen muß, so erscheint (Fig. 89) das kleine Sonnenbild auf dem Schirme nicht blos weit nach unten gerückt, sondern auch nicht mehr kreisförmig, vielmehr von oben nach unten in die Länge gezogen, und nicht mehr weiß, sondern vielmehr als ein buntfarbiger Streifen. Man nennt dieses farbige Sonnenbild ein Farbenspectrum. An seinem oberen Rande ist es roth gefärbt, dann folgen abwärts orange, gelb, grün, blau, violett, also 6, oder, wenn man, wie Newton that, blau in hellblau und dunkelblau, oder in blau und indigo scheidet, 7 Farben. Aber diese Farben sind nicht scharf abgegrenzt, sondern gehen durch unmerkliche Abstufungen in einander über. Das Roth liegt am höchsten, ist also der am wenigsten abgelenkte Strahl, das Violett erscheint am tiefsten, ist also am stärksten abgelenkt. Die violetten Strahlen sind also die brechbarsten, sie haben ursprünglich die größte Geschwindigkeit besessen und darum die größte Verzögerung erlitten; die rothen Strahlen sind die am wenigsten brechbaren, die am langsamsten schwingenden, welche die geringste Verzögerung erleiden. Da ferner die allgemeine Wellenlehre lehrt, daß die schmalere Welle stets mehr verzögert wird, als die breitere, so muß den violetten Strahlen auch die kleinste, den rothen die größte Wellenbreite zugeschrieben werden.

Fig. 89.



Jeder wird sich erinnern, daß, wenn er als Kind durch sein kleines prismatisches Glas die Gegenstände anschaute, er wohl farbige Ränder, aber niemals eine so vollkommene Nebeneinanderlagerung aller Farben, wie in jenem Sonnenspectrum, sondern meist nur roth und violett gefärbte Ränder erblickte. Ganz dasselbe wird ihm jetzt bei dem Newton'schen Versuche begegnen, wenn er ein Blatt Papier dicht hinter das Prisma hält. Er wird dann gleichfalls ein weißes Bild

sehen, das nur an den Rändern oben roth, unten violett gefärbt ist. Die Erklärung liegt nahe. Die Entfernung ist zu gering, um eine vollkommene Farbenzerstreuung eintreten zu lassen; das violette und das rothe Bild greifen in einander über, und in der Mitte lagern sich Strahlen aller Farben über einander, so daß sie in ihrer Vereinigung als weißes Licht erscheinen.

Gerade so, wie hier schon theilweise eine Vereinigung farbiger Strahlen zu weißem Lichte eintritt, ist man auch im Stande, die ganze Erscheinung der Farbenzerstreuung wieder aufzuheben. Das Mittel dazu besteht einfach in der Umkehrung desjenigen Mittels, welches angewendet wurde, um die Erscheinung hervorzurufen, d. h. in der Anwendung eines zweiten Prismas mit gleichem, aber entgegengerichtetem Brechungswinkel. Ein solches hat bekanntlich die Eigenschaft, die Strahlen gerade so viel nach oben abzulenken oder zu brechen, als es jenes nach unten that. Dadurch werden also die bisher am wenigsten gebrochenen Strahlen am stärksten, die am stärksten gebrochenen am schwächsten gebrochen, kurz, die bisherige Ablenkung sämmtlicher Strahlen wird aufgehoben, und es erscheint in der That ein weißes Bild in derselben Gestalt und an derselben Stelle, wie es erscheinen würde, wenn gar keine Brechung vorhergegangen, gar kein Prisma vorhanden gewesen wäre. Eine ganz ähnliche Erscheinung tritt ein, wenn man einen mit den prismatischen Farben bemalten Kreisel in eine schnelle Drehung versetzt. Die Eindrücke der verschiedenen Farben vermischen sich mit einander im Auge und erzeugen den gemeinsamen Eindruck des Weiß. Allerdings sind die Farben dieses Kreisels niemals so rein, wie die des prismatischen Sonnenbildes, und die Vermischung ihrer Eindrücke für das Auge erzeugt darum auch kein ganz reines Weiß, sondern bald ein mehr gelbliches, bald ein bläuliches. Aber die Wirkung ist doch wesentlich immer die Wiedervereinigung der zerstreuten farbigen Strahlen zu weißem Lichte.

Einfache und gemischte Farben.

In den Sonnenstrahlen, die zu uns herniederschießen, sind, nach dem Newton'schen Versuche zu schließen, die Farben offenbar schon vorgebildet, welche unser Auge empfindet, wenn sie ihm getrennt zur Erscheinung kommen. Die bunten Farben der Blumen, der Wiesen, des Himmels aber müssen eines Theiles jener ursprünglichen Strahlen bereits beraubt sein, um diese Färbungen darzubieten. Denn wenn in der Mischung der Sonnenstrahlen auch nur eine Farbe fehlt, so

kann aus ihrer Vereinigung nicht mehr Weiß hervorgehen. Man kann sich davon leicht überzeugen, wenn man den Newton'schen Versuch dahin abändert, daß man durch einen kleinen Schirm die rothen Strahlen aus dem prismatischen Bilde ausschließt. Vereinigt man dann die übrigen Farben durch ein zweites Prisma, so erblickt man nicht mehr ein weißes, sondern ein grünes Bild. Schließt man die grünen Strahlen aus, so erscheint das Sonnenbild roth; schließt man blau aus, so erscheint es orange. Solche Farben, die sich gleichsam zum Weiß ergänzen und deren jede, wenn sie in der Mischung der übrigen Farben fehlt, die andere hervorruft, Roth und Grün, Orange und Blau, Gelb und Violett, nennt man darum complementäre oder Ergänzungsfarben.

Die Empfindung einer bestimmten Farbe im Auge entsteht also nicht immer, wie es bei der Tonempfindung im Ohre der Fall ist, durch Einwirkung einer einzigen bestimmten Strahlengattung, sondern ebensowohl durch Zusammenwirken mehrerer verschiedenfarbiger Strahlen. Einfache und gemischte Farben können dem Auge völlig gleich erscheinen, und nur das Prisma vermag sie zu unterscheiden, indem es die einfache Farbe unverändert läßt, die gemischte aber in die einzelnen Farbenelemente zerlegt.

Zwischen den Farbenempfindungen, die man durch die Vereinigung zweier prismatischer Farben erhält, und denjenigen, welche durch Mischung entsprechender Farbstoffe erzeugt werden, besteht ein wesentlicher Unterschied. Jeder weiß, daß, wenn er gelbe und blaue Farbstoffe mischt, Grün entsteht. Aber das prismatische Gelb und Blau erzeugen mit einander nicht Grün, sondern Weiß. Helmholtz hat im Jahre 1852 interessante Untersuchungen über diese Abweichungen der Farbenempfindung angestellt. Er hat nachgewiesen, daß unsere gelben Farbstoffe niemals blos gelbe, sondern auch andere, namentlich grüne, unsere blauen Farbstoffe aber gleichfalls außer den blauen grüne Strahlen reflectiren, so daß ihre Mischung ganz natürlich vorzugsweise die Empfindung der grünen Farbe hervorrufen muß, da sich ja die gelben und blauen Strahlen zu Weiß ergänzen. Er hat ferner gezeigt, daß die alte Ansicht, als ob alle möglicher Weise existirenden Farben sich allein aus den drei sogenannten Grundfarben des Spectrums, Roth, Gelb und Blau, zusammensetzen lassen, eine völlig irrthümliche ist, da diese drei Farben niemals Grün erzeugen. Er hat allerdings gefunden, daß man die matteren Mischfarben der Naturkörper ziemlich gut durch drei einfache Farben des Spectrums nach-

ahmen kann, wenn man Roth, Grün und Violett zu diesem Zwecke wählt, die sich gleichfalls zu Weiß vereinigen lassen. Um aber die Reihe der gesättigten Farben durch Farben des Spectrums nachzuahmen, dazu bedarf es wenigstens 5 einfacher Farben: Roth, Gelb, Grün, Blau und Violett. Die Mannigfaltigkeit der Mischfarben, welche aus der Vereinigung je zweier dieser einfachen Farben hervorgeht, übersieht man am besten in folgender Tabelle, welche an der Kreuzungsstelle die Mischfarbe der zwei betreffenden einfachen Farben nachweist.

	Violett	Blau	Grün	Gelb
Roth	Purpur	Rosa	Mattgelb	Orange
Gelb	Lila	Weiß	Gelbgrün	
Grün	Blaßblau	Blaugrün		
Blau	Indigoblau			

Man sieht daraus, wie gemischte Empfindungen das Auge als einfache auffaßt, und wie verschiedene Combinationen von Farben derselben Empfindung zu Grunde liegen können. Natürlich müssen diese Combinationen um so mannigfaltiger werden können, je weißlicher die Farbe ist, über welche das Auge sein Urtheil abgeben soll.

Wenn die Farbe nun im eigentlichen Sinne nichts den Körpern Eigenthümliches ist, sondern von ihnen erst den Strahlen des sie beleuchtenden Lichtes entlehnt wird, so ist es sehr begreiflich, daß diese Farbe auch eine andere werden muß, wenn das beleuchtende Licht ein anderes ist. Gleichwohl wird diesem Einflusse der Beleuchtung auf die Farben nicht immer die volle Beachtung zu Theil, zum großen Schaden mancher jungen Balldame, die es nicht begreifen kann, daß ihr Putz den erwarteten Eindruck verfehlt. Zwei Körper nämlich, die im Tageslichte völlig gleiche Farben zeigen, können im hellen Lampenlichte sehr ungleiche Farben haben, und umgekehrt. Wenn eine Fläche im Tageslichte roth erscheint, so ist es darin begründet, daß sie alle gelben und blauen Strahlen des Tageslichtes verschluckt und nur die rothen zurückwirft. Beleuchtet man aber diese Fläche mit rein gelbem Lichte, so fehlt diesem gerade das Roth, und es enthält überhaupt keine Farbe,

die nicht von jener Fläche gänzlich verschluckt würde. Es wird also bei gelber Beleuchtung gar kein Licht von ihr zurückgeworfen, und die rothe Fläche erscheint schwarz. Am vollkommensten kann man ein solches einfaches gelbes Licht herstellen, wenn man den Docht einer Spiritus-lampe stark mit Kochsalz einreibt. Den Beweis dafür erhält man, wenn man eine solche Kochsalzflamme durch das Prisma betrachtet; man sieht dann außer einem reingelben Bilde nur noch ein sehr mattes violettes Bild der Flamme. In dem Lichte einer solchen Lampe verlieren daher die buntesten Gegenstände ihren Farbenschmuck; Blumen, Kleider, Gemälde hüllen sich fast zur Unkenntlichkeit in ein eintöniges gelbes Colorit. In's Gelbe spielendes Roth zeigt sich in diesem Lichte schmutziggelb; bläuliches Roth erscheint schwarz oder bräunlich; Grün und Blau verbleichen zu Grau oder Gelblichgrau. Das prachtvolle Farbenkleid eines Colibri verwandelt sich in das dunkle Gefieder des Raben, und die blühende Gesichtsfarbe der Jungfrau in das schmutzige Grau der verwesenden Leiche. Nun ist aber all' unser künstliches Licht in Theatern, Salons und Ballsälen diesem gelben Lichte mehr oder weniger verwandt, und in allen diesen Räumen wiederholt sich darum mehr oder weniger jene entstellende Farbenverwandlung. Darum müssen unsere Schauspielerinnen ihre Wangen schminken; denn das Licht vernichtet ihre natürliche Farbe. Darum muß man weißen Ballkleidern und Vorhängen einen gelblichen, nicht aber einen bläulichen Schimmer geben, wenn sie in der Abendbeleuchtung rein weiß und nicht grau erscheinen sollen. Darum ist es ein arger Verstoß in einer Abendtoilette, wenn Bänder und Schleifen von verschiedenem Roth darin vereinigt werden; denn die einen werden durch das gelbe Licht in Gelb, die andern in Braun übergespielt. Wer einmal seine Schönheit stets im besten Lichte zeigen will, der darf sich also auch den Lehren der Wissenschaft nicht ganz verschließen, der muß nicht blos auf sich selbst und seinen Schmuck, sondern auch auf das Licht sein Augenmerk richten, in welchem er sich zeigen soll. Daß übrigens auch die ganze Umgebung, namentlich die Farbe der Wände, der Teppiche, der Möbel an dieser Farbenwandlung einen wesentlichen Antheil nimmt, ist selbstverständlich. Also auch auf die Farbe des Sophas, auf das man sich setzt, der Wand, an die man sich lehnt, hat man zu achten, wenn man nicht eine Einbuße an seiner Erscheinung erleiden will.

Das Blau des Himmels und das Abend- und Morgenroth.

Nicht das zurückgeworfene Licht allein, auch das durchgelassene kann durch Eigenthümlichkeiten des inneren Baues der Körper zu einer Quelle der Farbenerzeugung werden. Wo beide Ursachen zusammenwirken, wird sich sogar die höchste Farbenpracht entwickeln. Die meisten durchsichtigen Körper lassen dieselben Strahlen hindurch, welche sie reflectiren, zeigen also die gleiche Farbe im durchgelassenen, wie im zurückgeworfenen Lichte. Aber es giebt einzelne Körper, welche eine ganz bestimmte Farbe zurückwerfen, aber eine ganz andere, oft geradezu die entgegengesetzte, die Ergänzungsfarbe, hindurchlassen. Es giebt z. B. Körper, welche blaues oder violettes Licht zurückwerfen und rothes oder orangegelbes Licht durchlassen. So erscheint unser gewöhnliches Milchglas im zurückgeworfenen Lichte bläulich weiß, im durchgelassenen Lichte aber roth, und selbst das Gold verliert seine bekannte rothgelbe Farbe, wenn es, in dünne Blättchen geschlagen, durchsichtig wird; es erscheint dunkelgrün. Die wunderbarste Erscheinung dieser Art führt uns aber alltäglich die Natur selbst in ihrem Abend- und Morgenhimmel vor.

Wenn man den aus dem Kessel einer Dampfmaschine ausströmenden Wasserdampf beobachtet, so wird man bemerken, daß dieser Dampf im auffallenden Lichte weißlich blau, im durchgehenden Lichte aber gelblich bis zum tiefen Orange erscheint, und daß die blaue Farbe ganz besonders da hervortritt, wo der Dampf fast noch als Wassergas eben ausströmt, während mehr nach oben, wo der Dampf schon zu Dunst verdichtet ist, sich ein reines Weiß zeigt. Betrachtet man den Wasserdampf in seinen einzelnen Theilchen, so erkennt man unendlich viele kleine, von dünnen Wasserhäutchen umschlossene Luftbläschen. Jedes solcher Bläschen gleicht gewissermaßen den Seifenblasen, an deren buntem Farbenspiele sich die Kinder ergötzen. Wie diese, erzeugt es im spiegelnden Sonnenlichte prachtvolle Farbenringe, in denen immer zuerst und am reinsten Blau und Violett hervortreten. Diese Farbenerscheinung, deren Entstehungsweise weiter unten erläutert werden wird, schwindet aber allmälig und geht in Weiß über, sobald die Wände der Bläschen eine gewisse Dicke erreichen. Solcher Dampf- oder Gasbläschen schweben nun Millionen beständig, selbst bei scheinbar völlig dunstfreiem Himmel, in der Atmosphäre. Je zarter und

gleichmäßiger diese Bläschen sind, je reiner wir darum auch die Luft nennen, mit desto gesättigterem Blau färben sie das Himmelsgewölbe. Wenn aber ein Dunstschleier den Himmel überzieht, so erscheint er weiß, wie die Sonne selbst, wenn sie ihre Strahlen durch Nebelmassen sendet. Wenn dichte Wolken vollends den Horizont bedecken und spärlich das Licht der Sonne durchlassen, so vermag ihr graublaues, fast schwärzliches Dunkel den hellen Tag in Nacht zu verwandeln. Je höher wir aber hinaufsteigen zu den Gipfeln der Gebirge, oder je mehr wir uns den dunstfreien Lüften der Tropen nähern, in desto tieferes Blau sehen wir den Himmel sich kleiden. Auch auf den höchsten Höhen freilich und in den reinsten Lüften der Tropen bleibt immer noch etwas Weiß dem dunkeln Himmelsblau beigemischt. Bei dem mannigfachen Ursprunge des Wasserdunstes nämlich, der aus jedem Athemzuge eines lebenden Wesens, aus jedem brennenden Feuer, aus jeder verdunstenden Wasserfläche der Atmosphäre zuströmt, ist es natürlich, daß sich stets Bläschen der verschiedensten Feinheit und Größe in der Luft mischen. Diese verschiedenen Bläschen werfen aber auch verschiedene farbige Strahlen zurück, die in ihrer Gesammtwirkung unserm Auge als Weiß erscheinen und, indem sie sich mit dem ursprünglichen Blau des Himmels mischen, jenes weißliche Blau erzeugen, das so recht eigentlich die charakteristische Farbe unseres nördlichen Himmels ist.

Wie es nun vorzugsweise die blauen Strahlen sind, welche von den Dunstbläschen des Himmels zurückgeworfen werden, so sind es die rothen und gelben, welche von ihnen durchgelassen werden, wenn sie als zarter Dunst oder als massige Wolkenanhäufungen zwischen dem Auge und der Sonne schweben. Gegen Sonnenuntergang, ehe die zunehmende Erkaltung der Atmosphäre ihre Dampfbläschen in Dunst und Wassertropfen verdichtet, und nach Sonnenaufgang, wenn der Thau im Grase sich durch die steigende Wärme wieder in Dampf verwandelt, tritt der Augenblick für die bunte Malerei des Himmels ein. Gelb, roth und orange, in den verschiedensten Abstufungen und mit Weiß gemischt, erscheinen uns dann sichtbar die Dämpfe der Atmosphäre und zaubern am Himmel das Wunderbild der Dämmerung, das sein farbiges Licht oft noch auf die gegenüberliegenden Wolken in rosigem Widerscheine zurückstrahlt. Lange, ehe die Wissenschaft diese Erklärung fand, hat der Volkssinn sie geahnt. Abendroth bringt gutes, Morgenroth schlechtes Wetter, sagt der Volksglaube, und er hat nicht unrecht beobachtet. Wenn die Luft mit Wasserdämpfen so stark gesättigt ist, daß sie sich bei Sonnenuntergang schon größtentheils in Dunst-

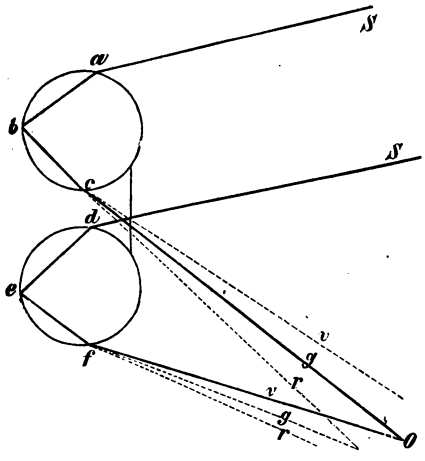
bläschen verwandelt haben, so kann sich nur ein schwaches Abendroth bilden, da das dunstförmige Wasser ja durchscheinend und farblos ist, und die untergehende Sonne erscheint dann in gelbem, schwachgeröthetem Lichte. Umgekehrt aber deutet ein lebhaftes Morgenroth auf einen großen Feuchtigkeitsgehalt der Atmosphäre, der nicht erst verdampfendem Thau seinen Ursprung verdankt, sondern vielmehr selbst einer Verdichtung entgegensieht. Freilich täuscht, wie alle Wetterregeln, auch diese, und der Volksglaube weiß das recht wohl, wenn er in einem besonders prachtvollen, oft den ganzen Himmel überziehenden Abendrothe den Vorboten schlechten, sturm- und regenreichen Wetters sieht, wie es in der That auch auf einen sehr hohen Feuchtigkeitsgrad der Luft deutet.

Der Regenbogen.

Wie herrlich auch die Farbenpracht des Abendhimmels sein mag, der mit seinen Reizen selbst die ödeste Landschaft verschönern kann, wunderbarer ist doch die regelmäßige Pracht des Regenbogens, der gleichsam im Großen den kleinen Versuch mit dem Prisma ausführt. Er erscheint bekanntlich nur bei niederfallendem Regen, wenn zugleich die Sonne am Himmel leuchtet, und zwar stets an dem der Sonne entgegengesetzten Theile des Himmels. Offenbar sind es die Wassertropfen der Regenwolke, welche durch Brechung die Farben zaubern. Auch der Regentropfen muß allerdings das weiße Licht der Sonne brechen und in Farben zerlegen. Aber der gebrochene Sonnenstrahl kann nicht unmittelbar durch die Regentropfen hindurch in unser Auge gelangen, wenn die Sonne in unserm Rücken steht und nur die vor uns stehende Regenwolke beleuchtet. Es können darum nur zurückgeworfene Lichtstrahlen sein, welche von der dunkeln Regenwand her unser Auge treffen. Allerdings dringen die Sonnenstrahlen zum Theil durch die hellen Regentropfen durch, aber doch immer nur zum Theil. Denn auch der kleinste Wassertropfen ist kein völlig durchsichtiger Körper; er ist uns ja sichtbar, was er doch nur durch sein zurückgeworfenes, gespiegeltes Licht sein kann. Jeder Wassertropfen hat also seine spiegelnde Oberfläche, wie es schon der funkelnde Thautropfen im Grase lehrt, und diese Fläche spiegelt sowohl nach innen wie nach außen. Fällt daher ein Sonnenstrahl (S a, Fig. 90, S. 336) schief auf einen Regentropfen, so wird er zwar im Innern gebrochen und nach a b abgelenkt; aber dieser gebrochene Strahl geht nur zum Theil durch

den Tropfen hindurch und wird zum andern Theil von der innern Spiegelfläche des Tropfens in der Richtung b c zurückgeworfen. Er tritt also, in seine Farben aufgelöst und nach unten abgelenkt, aus dem Tropfen in der abermals veränderten Richtung c v wieder hervor. Das in die Länge gezogene farbige Bild des Lichtstrahls kann natürlich nicht in seinem ganzen Umfange das Auge treffen, und es wird ganz von der Stellung des Beschauenden abhängen, welcher seiner zerstreuten farbigen Strahlen wirksam zur Netzhaut gelangt. Gerade so zeigt uns ja der funkelnde Thautropfen am Grashalme mit jeder veränderten Stellung eine andere Farbe. Von den höchsten Tropfen der Regenwolke können also nur die am meisten abgelenkten Strahlen, d. h. die rothen und gelben (r und g), von den untersten nur die am meisten gebrochenen, d. h. die blauen und violetten Strahlen (b und v) in unser Auge gelangen. Immer aber wird es Tropfen genug über einander in der Regenwolke geben, um die ganze Reihe der Farben vom Roth bis zum Violett in unserm Auge zu spiegeln.

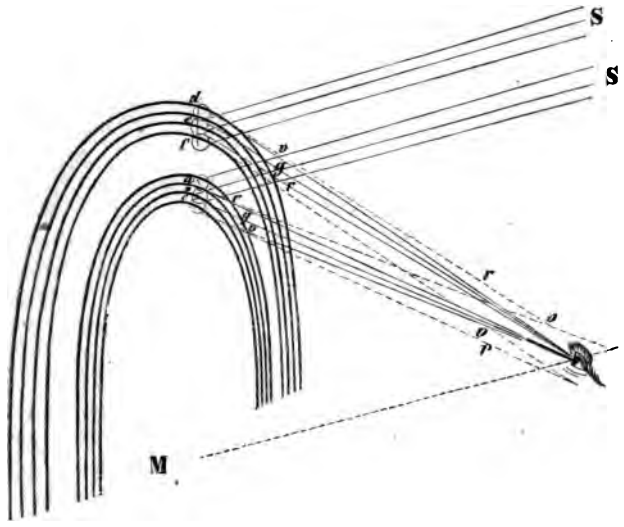
Fig. 90.



Alle Regentropfen, welche dieselbe Farbe in unser Auge senden, müssen aber natürlich auch die gleiche Lage gegen Sonne und Auge haben; denn alle gleichfarbigen Strahlen müssen die gleiche Ablenkung erlitten haben und in gleicher Richtung unser Auge treffen. Die gleichwirkenden Regentropfen der Wolke liegen daher in einen Kreisbogen geordnet, und ihre farbigen Strahlen bilden gleichsam den bunten Mantel eines Lichtkegels, der von der Wolke aus mit seiner Spitze in unser Auge reicht. So kommt es, daß uns der Regenbogen in jener schönen Kreisform erscheint, und daß den Mittelpunkt (M, Fig. 91, S. 337) dieses Kreises eine Linie bezeichnet, die von der Sonne her durch das beobachtende Auge gezogen wird. Dadurch erklärt es

sich, daß wir nie mehr als einen Halbkreis von einem Regenbogen erblicken, wir müßten denn auf der Spitze eines freiliegenden, sehr hohen Berges stehen. Daraus erklärt sich ferner, daß die Größe des Regenbogens mit dem Stande der Sonne wechselt, daß er den vollen Halbkreis bei Sonnenauf- und Sonnenniedergang erreicht, dagegen völlig

Fig. 91.

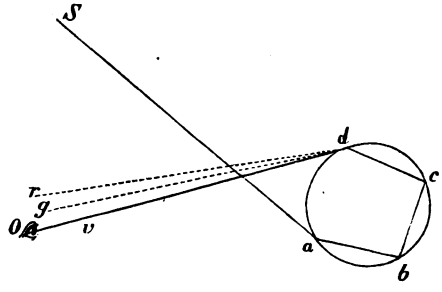


verschwindet bei einem Höhenstande der Sonne von mehr als $42\frac{1}{2}^0$. Denn die am wenigsten gebrochenen rothen Strahlen werden um einen solchen Winkel von $42\frac{1}{2}^0$ von der ursprünglichen Richtung abgelenkt und würden darum bei einem höheren Sonnenstande über uns hinweggehen.

Ueber dem Hauptregenbogen spannt sich häufig noch ein zweiter Regenbogen von minderer Deutlichkeit und Schönheit, der die Farben des ersteren in umgekehrter Ordnung zeigt, gleichsam wie sein Spiegelbild. Man hielt ihn in der That lange Zeit für ein solches, wie überhaupt seit Aristoteles, mit welchem bereits die Wissenschaft des Regenbogens ihren Anfang nimmt, die ganze Erscheinung für eine zusammengesetzte, verzerrte und verwirrte Spiegelung der Sonne in

den zahllosen Regentropfen gehalten wurde. Die heutige Wissenschaft hat eine ganz andere Erklärung dafür gegeben. Von den Tausenden von Sonnenstrahlen, welche jeden Regentropfen treffen, gelangen nur wenige durch Brechung und Zurückwerfung in unser Auge; die meisten gehen wirkungslos und ungesehen hindurch. Einige Strahlen aber, z. B. S a (Fig. 92), welche unten in den Regentropfen eintreten und von seiner inneren spiegelnden Fläche nach b c zurückgeworfen werden, verlassen nicht ohne Weiteres den Tropfen. Sie werden noch einmal nach innen (nach c d) zurückgeworfen und können so, abermals beim Austritt durch Brechung abgelenkt, in das Auge des Beschauers gelangen. Durch diese zweifache Brechung und Zurückwerfung werden diese Strahlen freilich geschwächt; aber immerhin erscheinen sie farbig, und zwar in umgekehrter Reihenfolge der Farben als vorher, da die am wenigsten abgelenkten Strahlen, die rothen nämlich, hier die oberste, die am stärksten gebrochenen, die violetten, die unterste Stelle einnehmen.

Fig. 92.



Auch mit diesem zweiten Regenbogen ist der Farbenreichthum dieser herrlichen Himmelserscheinung für das aufmerksame Auge noch nicht erschöpft. Unter dem prächtigen Roth des innern Regenbogens gewahrt man oft drei bis vier abwechselnde Säume des schönsten Purpur oder Grün, gerade da also, wo nach der bisherigen Darstellung die Brechungswinkel der Sonnenstrahlen ihren Eintritt in das Auge nicht mehr gestatten sollten. In der That ist es auch nur die Wirkung einer Farbenzerstreuung, welche durch außerordentlich kleine Tröpfchen hervorgebracht wird, in ganz ähnlicher Weise, wie die feinen Dunstbläschen unserer nordischen Atmosphäre das schöne Himmelsblau mit weißlichem Schimmer trüben. Darum fehlt diese Erscheinung auch dem Regenbogen der Tropen, deren Regengüsse freilich mit den unsrigen wenig Aehnlichkeit haben, und deren Tropfen von Wallnußgröße wohl eine von uns nicht geahnte Farbenpracht erzeugen, aber zur Hervorbringung solcher Farbensäume durch Lichtzerstreuung nicht geeignet

sind. Darum sehen wir ferner diese Farbensäume ganz besonders schön in dem obern Theile des Regenbogens. So sehr es nämlich auch der gewöhnlichen Volksansicht widersprechen mag: es regnet auf den Dächern nicht gerade eben so viel, als auf der Straße, weil die Wolke nicht allein, sondern auch die ganze feuchte Luftschicht zwischen Wolke und Erde regnet, so daß die fallenden Tropfen in der unteren Luftschicht beständig wachsen und endlich eine Größe erlangen, welche sie unfähig macht, jene eigenthümliche Farbenerscheinung zu veranlassen.

Aus der gegebenen Erklärung des Regenbogens geht nun die einfache Folgerung hervor, daß die Natur alle diese Farbenpracht für jedes Auge besonders zaubert, und daß kein Beobachter den Regenbogen des Andern sieht. Für jedes Auge muß es ja eine andere Gruppe von Regentropfen sein, welche ihm den farbigen Strahlenkegel zusendet. Es ist also durchaus nichts Anderes, als wenn von zwei Beobachtern derselbe Thautropfen dem einen in rothem, dem andern in grünem Lichte funkelt.

Der Achromatismus.

Jede Farbenerscheinung weist auf eine Brechung des Lichtes hin, auf den Durchgang von Lichtstrahlen durch einen lichtbrechenden Körper, sei es nun, daß die gebrochenen Strahlen unmittelbar unser Auge treffen, oder erst, nachdem sie von einer inneren Fläche des Körpers zurückgeworfen wurden. Man sollte daher meinen, daß auch jede Lichtbrechung mit einer Farbenerscheinung verbunden sein müßte. Daß dem aber nicht so ist, beweist schon unser eigenes Auge. Auch das Auge ist ein lichtbrechender Apparat, durch dessen vereinigende Kraft die Lichtstrahlen der Außenwelt erst zu den Nerven der Netzhaut gelangen können, um hier Bilder zu erzeugen; und diese Bilder sind keineswegs gefärbt, sie spiegeln treu und wahr nicht nur die Formen, sondern auch die Farben der Dinge. Hier, wie in allen Fällen, wo die Färbung der gebrochenen Lichtstrahlen aufgehoben wird, beruht dies auf einer ganz besonderen Einrichtung.

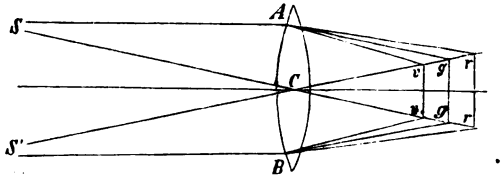
Man muß nämlich sehr wohl unterscheiden zwischen der eigentlichen Brechung und der Farbenzerstreuung. Wenn man den Lichtstrahl durch das Prisma zerlegt, so treten zwei wesentlich verschiedene

Erscheinungen ein: die eine ist die Ablenkung des Sonnenbildes von seiner ursprünglichen Stelle, die andere das in die Länge Ziehen desselben. Auf jener beruht die Brechung, auf diesem die Zerstreuung der farbigen Strahlen. Das Brechungsvermögen eines Körpers läßt sich also durch die Ablenkung der mittleren Strahlen des prismatischen Bildes, das Zerstreuungsvermögen durch den Unterschied in der Ablenkung der äußersten Strahlen, der rothen und der violetten, bestimmen. Beide Erscheinungen zeigen sich zwar mit einander verbunden, aber es besteht durchaus keine eigentliche Abhängigkeit zwischen ihnen. Davon kann man sich überzeugen, wenn man Prismen aus andern Stoffen verwendet, um das farbige Sonnenbild zu erzeugen. Man wird dann finden, daß zwei sonst gleiche Prismen aus Flintglas und aus Kronglas zwar fast das gleiche Brechungsvermögen besitzen, d. h. das Sonnenbild um fast denselben Winkel von der Stelle verrücken, daß sie aber ein durchaus verschiedenes Zerstreuungsvermögen zeigen, daß jenes nämlich ein fast doppelt so lang gezogenes farbiges Bild als dieses erzeugt. Das Brechungsvermögen des Flintglases beträgt nämlich 0,453, das des Kronglases 0,537; das Zerstreuungsvermögen des Flintglases ist dagegen = 0,05, während das des Kronglases nur = 0,036 ist. Umgekehrt zeigt der Diamant, der unter allen durchsichtigen Körpern die größte lichtbrechende Kraft besitzt, ein fast gleiches Zerstreuungsvermögen, wie das Wasser, während sein Brechungsvermögen = 1,473, das des Wassers = 0,785 ist, so daß beide zwar völlig gleich breite prismatische Bilder, aber an durchaus verschiedenen Stellen erzeugen müssen.

Bei dem steten Zusammentreffen der lichtbrechenden und der farbenzerstreuenden Kraft in allen durchsichtigen Körpern würde die Möglichkeit eines Sehens ohne solche prismatische Farbenerscheinungen völlig undenkbar sein, wenn nicht jene Verschiedenheit in der Größe beider Eigenschaften ein Mittel gewährte, die eine in ihren Wirkungen aufzuheben, ohne die andere ganz zu vernichten. Es war in der That eine praktische Aufgabe dieser Art, welche zuerst die Aufmerksamkeit auf jene Verschiedenheiten lenkte. Jene wichtigen optischen Instrumente nämlich, welche durch Vergrößerung der Bilder uns den Blick in die Welt des Unendlichfernen wie des Unendlichkleinen eröffneten, erlitten gerade durch jene Farbenzerstreuung eine wesentliche Einbuße an ihrer Brauchbarkeit. Die lichtbrechende Kraft ist es ja, durch welche die Glaslinsen dieser Instrumente ihre vergrößernde Kraft erhalten. Aber mit dieser Brechung verknüpft sich nun nothwendig die Farbenzer-

ſtreuung, und da jede Farbe ein anderes Brechungsverhältniß hat, und der Ort, an welchem das Bild entſteht, von dem Brechungsverhältniſſe abhängt, ſo müſſen von einem Körper, der ſein zuſammengeſetztes Licht auf die Linſe ſendet, unzählig viele gefärbte Bilder entſtehen, die alle in der Axe der Linſe hinter einander liegen. Läßt man z. B. auf eine ſogenannte Sammellinſe (A B, Fig. 93) von irgend einem weißen Gegenſtande (S S′) Strahlen fallen, ſo wird, da die violetten Strahlen die ſtärkſte, die rothen die ſchwächſte Brechbarkeit beſitzen, etwa in r r ein rothes, in v v ein violettes Bild erſcheinen, während dazwiſchen ſich Bilder aller anderen Farben zeigen werden. Hält man nun einen Schirm in die Gegend von v v, ſo werden hier Strahlen von allen Farben auftreffen und ein Bild erzeugen, deſſen Mitte weiß iſt, weil hier die ſich mit einander miſchenden Farben ſich vernichten, das aber rings von einem Farbenſaume umgeben iſt, in welchem die rothe Färbung durch alle Farben des Spectrums bis in's Violett übergeht.

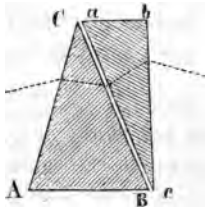
Fig. 93.



Dieſe farbige Umſäumung der Bilder beeinträchtigt natürlich in hohem Grade ihre Helligkeit und Deutlichkeit, und das Mittel zu ihrer Beſeitigung mußte darum einen wichtigen Fortſchritt in der optiſchen Kunſt bezeichnen. Ein Mittel, die durch die Brechung eines Prismas zerſtreuten farbigen Strahlen wieder in ein weißes Bild zu vereinigen, giebt es allerdings; man darf nur dem lichtbrechenden Prisma ein zweites völlig gleiches, aber mit umgekehrtem brechenden Winkel entgegenſetzen. Durch dieſes Mittel wird aber auch die Brechung aufgehoben, welche für die Wirkung der optiſchen Linſen gerade die unerläßlichſte Bedingung bildet. Man ſieht, wie wichtig jetzt der Umſtand iſt, daß es Stoffe giebt, die bei ſehr verſchiedenem Zerſtreuungsvermögen doch ein gleiches Brechungsvermögen beſitzen, wie es vom Kronglaſe und Flintglaſe bereits erwähnt wurde. Man iſt nämlich im Stande, durch Verbindung von Prismen aus dieſen Stoffen die Farbenzerſtreuung völlig aufzuheben, ohne die Brechung ganz zu vernichten.

Dem Scharfblicke des großen Newton war diese Unabhängigkeit des Brechungsvermögens der Körper von ihrem Zerstreuungsvermögen entgangen; in Dollond entzündete sie im Jahre 1757 den Gedanken zu jenen herrlichen achromatischen Fernröhren, die in wenigen Jahrzehnten mehr Licht in die dunkeln Himmelsräume ergossen haben, als frühere Jahrhunderte. Er benutzte die Verbindung von Kron- und Flintglas, um Linsen zu erzeugen, welche kaum etwas von ihrer brechenden Kraft, wohl aber, wenigstens zum größten Theile, die Eigenschaft verloren hatten, ihre Bilder mit Farben zu umsäumen. Zwei gleiche Prismen von Kronglas und Flintglas müssen nämlich bei gleichen Abständen ihre Farbenspectra fast an derselben Stelle zeigen; nur wird das Spectrum des letzteren fast doppelt so lang sein, als das des ersteren. Sollen daher beide Spectra gleiche Länge erhalten, so darf man nur den brechenden Winkel des Flintglasprismas etwas kleiner machen. Verbindet man dann beide Prismen so, daß ihre brechenden Winkel eine entgegengesetzte Lage haben, wie ABC und abc (Fig. 94), so müssen ihre Farben, da sie nun in umgekehrter Reihenfolge über einander fallen, einander aufheben, während doch die Brechung nur so weit verringert ist, als die Neigung der beiden brechenden Glasflächen AC und bc verkleinert wurde. Allerdings würde für eine völlige Aufhebung der Farben eine genaue Uebereinstimmung der beiden Spectra in den Verhältnissen aller ihrer Farben erfordert werden. Eine solche Uebereinstimmung findet aber in Wirklichkeit nicht statt; das Spectrum des Flintglasprismas enthält z. B. etwas weniger Roth und etwas mehr Blau, als das des Kronglasprismas. Man begnügt sich daher damit, zunächst nur diejenigen farbigen Strahlen zu entfernen, welche das lebhafteste Licht geben und zugleich möglichst weit von einander abstehen, namentlich Orange und Blau. Dadurch werden auch die benachbarten Farben wenigstens zum größten Theile ausgeglichen, und die übrigbleibenden bilden nur noch Grün und schwaches Purpur. Durch Ansetzung neuer Prismen kann man auch diese Ränder mehr und mehr entfärben, so daß endlich ein letzter schwacher Rand auch die schärfsten Beobachtungen nicht mehr zu stören vermag. Bei den Fernröhren tritt natürlich statt dieser Verbindung von Prismen eine Verbindung von Linsen ein, und zwar einer convexen oder Sammellinse

Fig. 94.



von Kronglas mit einer concaven oder Zerstreuungslinse von Flintglas (Fig. 95).

Fig. 95.

Da auch das natürliche Sehen mit einer Brechung des Lichtes in unserm Auge verbunden ist, so würde auch hier eine Farbenzerstreuung unvermeidlich sein, und wir würden alle weißen Gegenstände farbig umsäumt erblicken, wenn nicht eigenthümliche Flüssigkeiten von verschiedenem Brechungs- und Zerstreuungsvermögen hier die Rolle jener achromatischen Gläser übernähmen. Nur die lebhafte Färbung der Ränder einer feinen Spalte, durch welche wir nach einem entfernten hellen Gegenstande sehen, verräth uns noch, daß auch das Auge nicht ganz vollkommen die Farben aufzuheben vermag, welche durch die Brechungen in ihm erzeugt werden, auf denen die Entstehung seiner Bilder und der natürliche Vorgang des Sehens beruht.

Die natürlichen Farben der Körper.

Es ist nicht das directe Sonnenlicht allein, welches in unsere Augen gelangt; es giebt auch andere selbstleuchtende Körper, und die dunkeln, nicht selbstleuchtenden Körper werden uns wenigstens durch reflectirtes Licht sichtbar. Die Farben, in welchen sich die Körper im reflectirten Sonnen- oder Tageslichte zeigen, nennen wir ihre natürlichen Farben. Ihre Verschiedenheit beruht offenbar auf Besonderheiten des innern Baues und der Oberflächen der Körper, welche das Licht durchströmt, oder von welchen es zurückgeworfen wird. So wie es Körper giebt, welche das Licht ganz oder theilweise durchlassen, also durchsichtige oder durchscheinende, so giebt es andere Körper, welche gar kein Licht durchlassen und dann, je nachdem sie das auffallende weiße Licht ganz oder gar nicht oder nur theilweise zurückwerfen, weiß, schwarz oder farbig erscheinen. Freilich giebt es weder vollkommen weiße, noch vollkommen schwarze Körper in der Natur, und auch die farbigen Körper zeigen niemals ganz einfache, sondern stets mehr oder weniger zusammengesetzte Farben. Davon kann sofort ein Blick durch das Prisma überzeugen. Ein vollkommen rother Körper dürfte nur rothes Licht reflectiren und müßte alle andern Strahlengattungen verschlucken. Aber auch das reinste Roth zeigt durch das Prisma farbige Ränder und deutet damit die Anwesenheit verschieden brechungsfähiger Strahlen an.

Die Auswahl der farbigen Strahlen, welche von einem Körper zurückgeworfen, und derjenigen, welche von ihm verschluckt werden, seine natürliche Färbung also, hängt offenbar von Verschiedenheiten des inneren Baues ab, welche freilich von der Wissenschaft noch wenig ergründet sind. Der innere Bau eines Körpers muß ein durchaus anderer sein, wenn er nur orangefarbenes Licht zurückwirft, als der eines andern, welcher nur rothes und gelbes, oder eines dritten, der rothes, gelbes und orangefarbenes Licht zurückwirft, obgleich alle diese drei Körper in der weißen Tagesbeleuchtung uns als vollkommen gleichfarbig erscheinen können, weil das Auge die Eindrücke vermischt.

Da die natürlichen Farben der Körper ihren Ursprung allein den farbigen Strahlen des sie beleuchtenden Lichtes verdanken, so hat die Natur dieses Lichtes einen wesentlichen Einfluß darauf, und mit der Aenderung der Beleuchtung verändert sich daher auch, wie wir gesehen haben, das äußere Ansehen, die Färbung der Gegenstände. Strahlen, die in dem beleuchtenden Lichte nicht vorhanden sind, kann kein Körper zurückwerfen. Nun ist aber alles künstliche Licht mehr oder weniger gefärbt, d. h. es enthält die eine oder die andere Farbe gar nicht oder doch nur in geringem Grade. Die Flammen unserer Lampen und Kerzen enthalten weniger Violett und Blau, als das Sonnenlicht; sie erscheinen deshalb gelb oder orange gefärbt. Daher darf es uns nicht wundern, daß wir Abends nicht leicht im Stande sind, Grün und Blau zu unterscheiden. Nur das Licht, das von weißglühenden Körpern, also in den höchsten Temperaturen, die wir erzeugen können, ausgestrahlt wird, kommt dem weißen Sonnenlichte nahe. Die Untersuchungen, welche der amerikanische Physiker Draper im Jahre 1847 über das Licht strahlender Körper angestellt hat, haben in der That auf einen merkwürdigen Zusammenhang zwischen der Temperatur und der Färbung des Glühlichts geführt. Bei den verschiedenartigsten Körpern, Platin, Eisen, Blei, Kohle, tritt das Leuchten bei derselben Temperatur ein und beginnt stets zuerst mit dem rothen, also am meisten brechbaren Lichte, zu welchem erst bei zunehmender Temperatur allmälig die mehr brechbaren Strahlen bis zu den violetten hinzutreten. Nicht allein die Intensität oder Helligkeit des Lichtes, sondern auch die Mannigfaltigkeit seiner Strahlen wird also durch die Temperaturerhöhung befördert.

Die Farben dünner Blättchen.

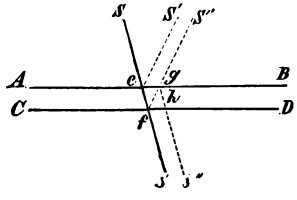
Neben den ruhigen Farben der Körper, der Blumen und Blätter, der Steine und Erden, begegnen wir Farbenerscheinungen, die uns durch die Lebhaftigkeit ihres Wechsels und ihre Buntheit in Erstaunen setzen. Der Schmetterling, der aus dem dunkeln Blau seiner Flügel alle möglichen Farben, Grün, Roth, Violett zaubert, immer eine mit der andern vertauschend, als genüge ihm keine, die Blumenpracht zu besiegen, über welcher er sich schaukelt; der Laufkäfer, dessen grüne Flügeldecken, bald im Goldglanze, bald im Blau des Azurs strahlend, in ihrem Farbenspiele die Pflanzenwelt mit dem Reiche der Metalle zu vermitteln scheinen; die herrlichen Regenbogenfarben der Perlmutter, der Schimmer der seidenen Kleider, das bunte Anlaufen des Stahls, der in den reinsten Farben des Regenbogens spielende zarte Ueberzug, der sich auf der Oberfläche des Wassers bildet, wenn ein glühender Eisenstab darin abgelöscht wird, — alles das sind Erscheinungen, die sich nicht mehr so einfach durch eine Zurückwerfung des Lichts, wie etwa die weiße Farbe des Papiers oder die rothe eines Ziegels, auch nicht einmal durch eine bloße Brechung, wie das Farbenspiel des Thautropfens, erklären lassen.

Eine der bedeutendsten Erscheinungen dieser Art ist das schöne Farbenspiel der Seifenblasen. Eine solche Seifenblase ist aber nichts Anderes, als von einer äußerst dünnen Seifenwasserschicht umschlossene Luft. Daß die eingeschlossene Luft nicht die Ursache des Farbenspiels sein kann, ist selbstverständlich, da es zu einer farbenzerstreuenden Brechung eines Durchgangs des Lichts durch verschiedene Mittel bedarf. Nur in der dünnen Seifenwasserschicht kann also der farbenerzeugende Vorgang stattfinden. Aber dieser Vorgang kann auch nicht in einer bloßen Brechung bestehen, denn das Farbenspiel der Seifenblase ist ein ganz anderes, als das eines im Sonnenstrahle funkelnden Thautropfens. Hier ist es ein Widerschein, gleichsam ein buntes Gemälde, das sich auf der dünnen Haut flüchtig malt, nicht ein farbiger Blitz, wie er aus dem Innern des Thautropfens hervorschießt. Noch deutlicher tritt dieser Unterschied in der Farbenerscheinung hervor, die sich auf der Oberfläche des Wassers bildet, wenn glühendes Eisen darin eingetaucht wird. Hier ist es offenbar nur die dünne Oxydschicht, der sie ihr Entstehen verdankt. Der Anblick wird noch prachtvoller, wenn man einen Tropfen Terpentinöl auf das Wasser fallen läßt. Augen-

blicklich verbreitet sich das Oel in einer außerordentlich dünnen Schicht über die Wasserfläche, und wenn sich der Himmel in dieser, durch beständige Verdunstung immer mehr sich verdünnenden Schicht spiegelt, bietet sie ein Farbenspiel, das an Glanz und Lebhaftigkeit des Wechsels noch weit unsere Seifenblasen überbietet.

Man muß sich der außerordentlichen Kleinheit und Geschwindigkeit der Lichtwellen bewußt werden, um zu begreifen, daß für den Lichtstrahl auch die dünnste Schicht immer noch ein Körper ist, und daß die Grenzen eines Körpers nicht nahe genug gerückt werden können, daß nicht der Lichtstrahl zwischen ihnen noch Raum zu mannigfaltigen Bewegungen und Veränderungen fände. Die zarte Terpentinschicht A B C D (Fig. 96) ist für den Lichtstrahl, was jeder andere Körper. Er wird zu einem Theile von der äußeren Grenzfläche A B zurückgeworfen, während er zum andern sie durchdringt und gebrochen wird. Der gebrochene Lichtstrahl e f erfährt aber dasselbe Schicksal an der zweiten Grenzfläche der Schicht, wird hier abermals zu einem Theile zurückgeworfen, zum andern durchgelassen und beim Uebergange in das Wasser gebrochen. Dieser von der Hinterseite der Schicht zurückgeworfene Theil des Lichtstrahls gelangt nun zur vorderen Fläche zurück, wird hier abermals getheilt, zurückgeworfen und durchgelassen, und so treten zwei einander außerordentlich nahe und unter einander parallele Lichtstrahlen e S' und g S'' von der Oberfläche der dünnen Schicht zurück in unser Auge, während zwei andere gleichfalls parallele Strahlen f s ' und h s'' die Schicht durchdringen und nach unten aus ihr heraustreten.

Fig. 96.



Lichtstrahlen haben nun in der Sprache der Wissenschaft keine andere Bedeutung, als daß sie die Richtung von Lichtwellen bezeichnen. Danach sind es hier zwei Lichtwellen, die sich an der spiegelnden Oberfläche der Schicht gebildet haben, und die daher nothwendig, da ja an jedem Punkte der Schicht derselbe Vorgang stattfindet, mit einander in Berührung kommen müssen. Allerdings verfolgen beide Lichtwellen die gleiche Richtung und scheinen sich darum auch nicht kreuzen und stören zu können. Aber Wellen sind weiter Schwingungserscheinungen, bei denen die Geschwindigkeit der Theilchen nicht allein, sondern auch die Richtung ihrer Schwingungen, d. h. die Form der Welle, der

Wechsel von Berg und Thal in Betracht kommt. Nach dem allgemeinen Gesetze der Interferenzen müssen also zwei in gleicher Richtung fortschreitende Wellen beim Zusammentreffen einander verstärken oder vernichten, je nachdem ihre zusammentreffenden Theilchen sich in gleichen oder entgegengesetzten Schwingungszuständen befinden, je nachdem mit andern Worten die von den Wellen durchlaufenen Wege sich um ganze oder halbe Wellenbreiten unterscheiden. Eine gegenseitige Vernichtung der Lichtwellen aber hat die Bedeutung einer Verwandlung von Licht in Dunkel.

Doppelte Lichtstrahlen sind es, die von der dünnen Terpentinschicht auf dem Wasser ausgehen, und zwar sind sowohl die zurückgeworfenen als die durchgelassenen Strahlen doppelt. Diese doppelten Lichtstrahlen sind ferner parallel, die Wellen schreiten also in gleicher Richtung fort. Aber die Wege, die sie durchlaufen, sind nicht völlig gleich. Der eine Lichtstrahl e S' wird unmittelbar zurückgeworfen, während der andere g S '' zuvor zweimal die Dicke der Oelschicht durchlaufen mußte. Von der Dicke der Schicht wird es also abhängen, ob die Wellen einander verstärken oder vernichten sollen. In dem einen Falle muß diese Dicke als der halbe Unterschied der Wellenwege halbe, im andern Viertel-Wellenbreiten des Lichts betragen. Nun enthält aber das Sonnenlicht, wie wir gesehen haben, verschiedene farbige Strahlen, die sich durch die Geschwindigkeit ihrer Wellen, also durch ihre Wellenbreiten unterscheiden. Darum kann eine bestimmte Dicke der Schicht auch nur für eine einzige Farbe die Bedingung der Interferenz genau erfüllen; alle andern Farben müssen einander darum schwächen oder aufheben, wenn die eine Farbe verstärkt wird. Bei einer gleichmäßig dicken, völlig farblosen Schicht wird also durch die Zurückwerfung des Lichts immer nur eine einzige, von der Dicke derselben abhängige Farbe erzeugt werden, die aus dem Zusammenwirken der sich am meisten verstärkenden Lichtwellen hervorgeht.

Bei den durchgelassenen Lichstrahlen findet ganz derselbe Vorgang statt. Auch hier treten zwei in gleicher Richtung fortschreitende, in ihren Wegelängen um die doppelte Dicke der Schicht verschiedene Wellen hervor. Dennoch wird die Erscheinung eine etwas andere. Die zweite Lichtwelle h s'' (Fig. 96) wird, bevor sie die Oelschicht verläßt, an der Wasserfläche, also an der Grenze des dichteren Mittels zurückgeworfen. Es geschieht ihr hier, was einer elastischen Kugel geschieht, wenn sie gegen eine größere ruhende Kugel trifft. Sie erhält allerdings ihre Bewegung von der ruhenden Masse zurück, aber nicht

ganz unbeschadet; sie erleidet eine Verzögerung. Solch eine Verzögerung muß auch eintreten, wenn Lichtwellen aus dem dünneren Mittel in das dichtere zurückgeworfen werden. Diese Verzögerung, die eine halbe Wellenbreite beträgt, ist es, welche die Erscheinung des durchgehenden Lichtes bei dünnen Schichten wesentlich von der des zurückgeworfenen unterscheidet. Der Unterschied der Wege wird für die beiden durchgelassenen Lichtwellen um diese halbe Wellenbreite vergrößert, und so kommt es, daß, wenn bei einer bestimmten Dicke der Schicht die einer bestimmten Farbe entsprechenden Wellen im zurückgeworfenen Lichte sich verstärken, sie im durchgelassenen Lichte sich geradezu vernichten und damit ihre complementäre Farbe zur Geltung kommen lassen. So erklärt es sich auch, daß durchsichtige Körper oft eine andere Farbe im auffallenden, als im durchgehenden Lichte zeigen, daß z. B. der Wasserdampf der Locomotive und die Dunstbläschen der Atmosphäre das eine Mal in gelbem, das andere Mal in blauem Lichte erscheinen können.

Die Abhängigkeit der Farbe von der Dicke der dünnen Schicht ist es, welche das bunte wechselvolle Farbenspiel der Seifenblase oder der dünnen Eisenoxydhaut auf der Wasserfläche erklärt. Jeder Dicke der Schicht entspricht eine bestimmte Farbe, und diese muß sofort in eine andere übergehen, wenn die Dicke der durchsichtigen Schicht sich ändert, wenn z. B. bei fortgesetztem Blasen das dünne Häutchen von Seifenwasser, welches die Blase bildet, sich ausdehnt.

Diese Thatsache ist nun zugleich die Veranlassung zu einer der bewunderungswürdigsten Leistungen der Wissenschaft geworden. Sie hat dem Physiker ein Mittel in die Hand gegeben, die unendlich kleinen Wellen des Lichtes zu messen und jene zarten Schwingungen zu zählen, deren Billionen in jeder Secunde den Aether und die Netzhaut des Auges erschüttern. Wenn die Wissenschaft die Wellen der Töne mißt und zählt; von deren Dasein allenfalls noch das Auge überzeugt, so liegt darin nichts Unbegreifliches; daß sie aber Wellen messen soll, wo die naive Anschauung sie nicht einmal ahnt, daß sie in den bunten Wellen, die wir Farben nennen, selbst für die kleinsten Unterschiede noch Zahlen finden und dem Auge Gesetze dictiren soll, unter welchen es seine Eindrücke zu empfangen habe, das scheint in der That die Grenzen gewöhnlicher Fassungskraft zu überschreiten. Gleichwohl beruht diese Lichtwellenmessung auf sehr einfachen Grundsätzen.

Wenn nämlich jeder Farbe, wie oben gezeigt wurde, eine bestimmte Dicke der dünnen Schicht entspricht, und das Verschwinden

dieser Farbe stets auf eine Vergrößerung des Unterschiedes zwischen den Wegen der durch ihre Interferenz diese Farbe erzeugenden Lichtwellen um eine halbe Wellenbreite hindeutet, und da diese Vergrößerung des Unterschiedes, wenn sie von der dünnen Schicht herrühren soll, eine Zunahme ihrer Dicke um eine Viertelwellenlänge voraussetzt; so muß es begreiflicher Weise möglich sein, aus dem Erscheinen und Verschwinden bestimmter Farben in solchen Schichten und aus der jedesmaligen Dicke dieser auf die Wellenlänge der Farben selbst zu schließen. Vorausgesetzt wird freilich, daß man einerseits im Stande ist, die Farbenbildung in einer solchen Schicht willkürlich zu beherrschen, andererseits die geringen Unterschiede in der Dicke der Schicht selbst genau zu messen.

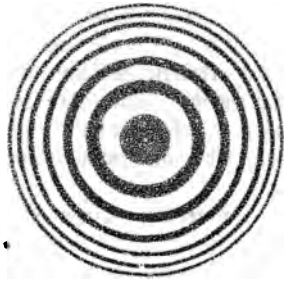
Zu einer solchen Untersuchung bedarf es indeß eines zuverlässigeren Stoffes, als die veränderliche Seifenblase ist. Da der Stoff einer solchen dünnen Schicht durchaus gleichgültig, und nichts als ein dünnes durchsichtiges Mittel erforderlich ist, so muß eine Luftschicht zwischen zwei Glasplatten offenbar dieselben Dienste leisten, wie die erwähnte Seifenwasser- oder Eisenoxydhaut. Die beiden Glasplatten geben dann aber ein sehr bequemes Mittel ab, die Dicke der Luftschicht beliebig zu begrenzen. Nimmt man daher eine möglichst schwach gekrümmte Glaslinse von der Gestalt eines gewöhnlichen Brennglases und legt diese auf eine ebene Glasplatte, so wird die Dicke der Luftschicht zwischen beiden von ihrem Berührungspunkte in der Mitte nach dem Umfange der Linse hin in außerordentlich langsamer Weise zunehmen und einen Spielraum für das Entstehen aller möglichen Farben bieten. Läßt man nun das Tageslicht auf diese etwas an einander gepreßten Gläser fallen, so wird man in der That da, wo die Gläser einander berühren, einen dunkeln Fleck erblicken, der von den herrlichsten regenbogenfarbigen Ringen umgeben ist. Dies sind die sogenannten Newton'schen Farbenringe, die in dem großen Streite über die Natur des Lichtes eine bedeutende und entscheidende Rolle gespielt haben.

Die Erklärung dieser Erscheinung verursachte den Zeitgenossen Newton's großes Kopfzerbrechen. Jetzt gestaltet sie sich nach der obigen Darstellung in folgender Weise. Jede Lichtwelle wird, wenn sie in einem stärker brechenden Mittel von der Grenzfläche eines schwächer brechenden Mittels zurückgeworfen wird, während dieser Reflexion um eine halbe Wellenlänge verzögert, so daß sie in dem Augenblicke, in welchem sie die spiegelnde Fläche verläßt und in das dichtere Mittel

zurückkehrt, sich gerade in dem entgegengesetzten Schwingungszustande von demjenigen befindet, in welchem sie an der spiegelnden Fläche ankam. Die von der vordern und hintern Fläche der beide Gläser trennenden Luftschicht zurückgeworfenen Lichtwellen müssen sich daher in entgegengesetzten Schwingungszuständen befinden, so oft ihre Wege sich um ganze Wellenlängen von einander unterscheiden. Der Unterschied dieser Wege ist aber, wie oben gezeigt wurde, der doppelten Dicke der durchlaufenen Luftschicht gleich. Es muß daher eine Vernichtung oder Schwächung der beiden von der vordern und hintern Fläche zurückgeworfenen Lichtwellen an allen den Punkten eintreten, wo die Dicke der trennenden Schicht halbe Wellenlängen beträgt, während die größte Verstärkung der Lichtwellen da stattfinden muß, wo die Dicke der dünnen Luftschicht 1, 3, 5 ꝛc. Viertelwellenlängen umfaßt.

Da im weißen Tages- oder Sonnenlichte sich stets farbige Ringe zeigen, so folgt daraus offenbar, daß diesen Farben verschiedene Wellenlängen entsprechen; denn nur unter dieser Voraussetzung können die verschiedenen Farben an verschiedenen Punkten einander aufheben oder verstärken. Daraus folgt aber weiter, daß zunächst um die Mitte, in welcher die beiden Gläser einander berühren, diejenige Farbe auftreten muß, welche der geringsten Wellenbreite entspricht, während die äußersten Ringe von denjenigen Farben gebildet werden, denen die größte Wellenbreite zukommt. Endlich müssen auch alle Farben Ringe von verschiedener Breite bilden, und zwar müssen die einer geringeren Wellenbreite entsprechenden auch näher an einander liegen, als die mit einer größeren Wellenbreite.

Fig. 97.



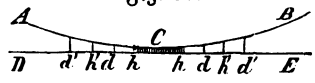
In der That sieht man bei den Newton'schen Farbenringen (Fig. 97) zunächst um die dunkle Mitte sich stets einen schmalen violetten Ring bilden, an den sich ein blauer anschließt. Dann aber kommen Ringe von immer größeren Breiten, deren Farben einander zum Theil decken und Weiß bilden, zum Theil aber wieder auseinander treten und Mischungsfarben erzeugen. Man kann so eine ganze Reihe von Ringen verschiedener Färbung unterscheiden, und zwar sind es zunächst Gelb, Orange und Roth, die sich an das Weiß des ersten Ringes anschließen. Darauf folgt dann

ein zweiter Ring, welcher Violett, Blau, Gelblichgrün, Gelb und Roth enthält. Darauf kommt weiter ein dritter Ring mit Purpur, Indigo, glänzendem Grün, Gelb, Rosa, Carmoisin, ferner ein vierter Ring mit Bläulichgrün, Blaßorange und Schwachroth, ein fünfter mit Schwachgrün, Weiß und Schwachroth und endlich ein sechster mit Schwachbläulichgrün und Schwachroth, an dessen Grenzen auch unter den günstigsten Umständen die Farben zu erbleichen und zu schwinden anfangen.

Ganz ähnliche Farbenerscheinungen, wie die beschriebenen, bei auffallendem Lichte stattfindenden, treten auch bei durchgehendem Lichte ein; nur sind sie schwächer und zeigen Farben, die genau die complementären derjenigen sind, welche sich im auffallenden Lichte zeigen.

Auf solche farbige Ringe gründet sich nun die Messung der Lichtwellen. Mit größter Bequemlichkeit kann man ja die Durchmesser der farbigen Ringe selbst messen, und ebenso die Abstände der beiden Gläser von einander an den entsprechenden Stellen aus der Krümmung der Linse ACB (Fig. 98) berechnen. Soll aber aus diesen Abständen, also aus den Wegunterschieden der interferirenden Lichtwellen, die stets halben oder ganzen Wellenlängen entsprechen müssen, auf die Wellenlängen selbst geschlossen werden, so muß man freilich auch wissen, welchen bestimmten Lichtstrahlen diese Wellen angehören. Darin stört hier noch die Farbe und das Ineinanderfließen und Sichmischen der farbigen Ringe. Aber diesem Uebelstande ist dadurch abzuhelfen, daß man statt des gemischten weißen Lichtes nach einander die verschiedenen einfarbigen Strahlen des Sonnenlichts auf die Gläser wirken läßt. Die Erscheinung wird dadurch nur in so weit geändert, als statt der farbigen Ringe sich nur noch ein einfacher Wechsel von hellen und dunkeln Ringen zeigt. Bei dem ersten dieser hellen Ringe h h (Fig. 98) muß die Dicke der Luftschicht zwischen den Gläsern genau $^1/_4$, beim zweiten h′h′ $^3/_4$, beim dritten $^5/_4$ der Wellenlänge des angewandten Lichtstrahls betragen. Mißt man also diese Schicht, so mißt man auch die Wellenlänge. Für jede andere Farbe werden natürlich die Durchmesser der hellen und dunklen Ringe andere, größer oder kleiner sein, je nachdem ihre Wellenlängen größer oder kleiner sind. Will man vollends die Wellen zählen, welche in jeder Secunde in den verschiedenen farbigen Lichtstrahlen in unser Auge schießen, so muß man die bekannte Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichts (40,257 geogr. Meilen in der Secunde) in Rechnung ziehen.

Fig. 98.



Man hat ja einfach diese Zahl von Meilen, welche das Licht in jeder Secunde durchläuft, durch die Länge seiner Wellen zu dividiren, um die Zahl der Schwingungen zu finden, welche in dieser Secunde vollendet werden.

Auf diese Weise hat man folgende Zahlen gefunden:

Farbe des Spectrums	Wellenlänge in Millimetern	Wellenlänge in preuß. Linien	Zahl der Schwingungen in der Secunde
Roth	0,0006896	0,0003163	433 Billionen
Orange	0,0006559	0,0003008	455 „
Gelb	0,0005888	0,0002700	507 „
Grün	0,0005265	0,0002421	567 „
Blau	0,0004856	0,0002227	615 „
Indigo	0,0004296	0,0001970	695 „
Violett	0,0003963	0,0001818	753 „

Die Frauenhofer'schen Linien und die Spectralanalyse.

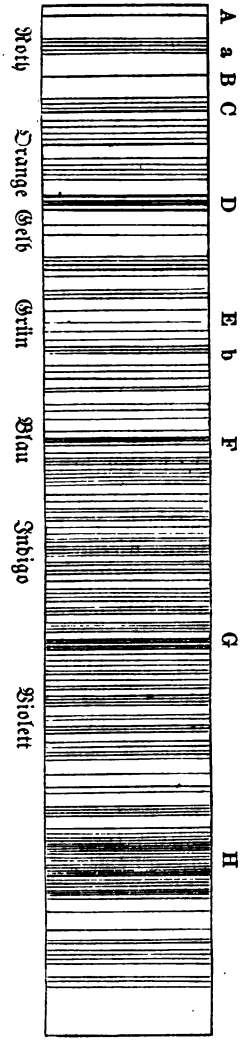
So bewundernswerth auch die Messung der Lichtwellen und die Zählung der Lichtschwingungen erscheinen muß, so könnte man doch darin noch einen Mangel an Bestimmtheit finden, daß die Lichtstrahlen, für welche die Zahlen gelten sollen, in der obigen Tabelle nur schlechthin mit Roth, Orange ꝛc. bezeichnet sind. Denn wer jemals die Farbenpracht des Regenbogens oder des künstlich erzeugten Sonnenspectrums genauer betrachtet hat, wird gefunden haben, daß diese Farben keineswegs scharf gegen einander abgegrenzt sind, daß sie vielmehr sehr merklich in einander übergehen. Dennoch hat die Natur dem wissenschaftlichen Auge ein Mittel geboten, durch welches den Bezeichnungen, die der subjectiven Farbenempfindung entlehnt wurden, die wünschenswertheste Bestimmtheit gegeben wird. Dieses Mittel sind die Frauenhofer'schen Linien.

Wenn man ein prismatisches Sonnenbild durch ein achromatisches Fernrohr betrachtet, d. h. wenn man ein durch einen engen Spalt in ein dunkles Zimmer eintretendes Strahlenbündel durch ein Fernrohr beschaut, vor dessen Objectiv sich ein brechendes Flintglasprisma befindet, so erblickt man in dem Spectrum eine zahllose Menge feiner *dunkler Streifen*, welche senkrecht zur Längenrichtung des Spectrums,

parallel mit den Rändern der Spalte stehen und bald stärker, bald schwächer, bald einzeln, bald in Gruppen vereinigt, höchst unregelmäßig durch die verschiedenen Farben vertheilt sind. Aus welcher Substanz auch das brechende Prisma bestehen möge, aus Flintglas, Kronglas, Wasser, Alkohol, Schwefelkohlenstoff ꝛc., die Lage dieser Linien bleibt unverändert dieselbe. Der englische Physiker Wollaston war es, der im Jahre 1802 zuerst diese Linien beobachtete, aber von Frauenhofer, durch dessen geniale Untersuchungen sie zuerst allgemein bekannt wurden, haben sie den Namen erhalten. Schon die Entdecker zählten 574 solcher Linien, seitdem hat man mehrere Tausende gezählt. Frauenhofer ließ es aber nicht bei der Zählung bewenden, er bestimmte zugleich durch genaue Messung ihre gegenseitige Lage und gab ihnen zuerst eine praktische Bedeutung, indem er sie zur Abgrenzung und Feststellung der Hauptfarben des Spectrums benutzte. Zu diesem Zwecke wählte er einige der stärksten und auffallendsten aus und bezeichnete sie mit Buchstaben. Der Streifen A (Fig. 99) liegt an der äußersten Grenze des sichtbaren Spectrums, B bezeichnet die Grenze des Roth, C die von Roth und Orange, D liegt nahe an der Grenze des Gelb, E nahe am Grün, F in der Mitte des Blau, G an der Grenze des Indigo und H im Violett, dessen äußerste Grenze der Streifen I bezeichnet. Diesen Streifen B bis H entsprechen auch die in der obigen Tabelle der Wellenlängen und Schwingungszahlen des Roth, Orange, Gelb ꝛc. aufgeführten Farben.

Wenn durch Newton's Theorie das Reich der Farben gleichsam zu einer Musik geworden war, die sich freilich nur in den engen Gren-

Fig. 99.



zen einer Quinte — denn dieser entspricht das Intervall der am weitesten abstehenden Farben Roth und Violett — bewegt, so konnte doch noch eine wesentliche Seite dieser Musik, das, was etwa als Klang zu bezeichnen wäre, vermißt werden. Im Klange spricht bekanntlich gleichsam die stoffliche Natur der Dinge zu unserm Ohre; andere Klänge entquellen den zitternden Saiten, andere der Flöte, andere dem Waldhorne. Sollte etwas Aehnliches auch im Reiche des Lichts stattfinden, sollte anderes Licht den verschiedenen Stoffen entströmen, dann wäre man ja im Stande, durch die flüchtigen Boten der Lichtstrahlen, die uns in Verkehr setzen mit den fernsten Welten des Himmels, selbst die stofflichen Geheimnisse jener endlosen Ferne zu enträthseln. Unser Auge hat freilich keine Empfindung für die Unterschiede solcher Lichtklänge, aber die Wissenschaft unserer Tage hat sich diesen fehlenden Sinn gewissermaßen geschaffen durch die unter dem Namen der Spectralanalyse bekannt gewordene Entdeckung der berühmten Heidelberger Naturforscher Kirchhof und Bunsen.

Schon Frauenhofer hatte im Jahre 1815 die Unabhängigkeit der nach ihm benannten dunklen Linien im Spectrum von der stofflichen Natur, wie von dem brechenden Winkel des Prismas, und die Beständigkeit ihrer gegenseitigen Lage erkannt. Andere Physiker hatten später bereits manche Verschiedenheiten an diesen Linien wahrgenommen. Sie hatten solche dunkle Linien unterschieden, die im Spectrum aller Himmelskörper, des Sonnen-, Planeten- und Fixsternlichts, sichtbar sind, und die sie kosmische Linien nannten, dann wieder solche, die nur durch die absorbirende Eigenschaft gewisser Gase, insbesondere der rothen Dämpfe der salpetrigen Säure erzeugt werden. Sie hatten ferner helle, glänzende Linien unterschieden, die der elektrische Funke hervorbringt, wenn er zwischen verschiedenen Leitern überspringt, und andere helle Linien im Spectrum irdischer, durch verschiedene Substanzen gefärbter Flammen. Alle diese Erfahrungen waren mit der Zeit erweitert worden, und namentlich hatte man erkannt, daß auch die Erdatmosphäre eine absorbirende Wirkung auf gewisse Streifen des Sonnenspectrums ausübe.

Eine der wichtigsten Thatsachen war im Jahre 1835 durch den englischen Physiker Wheatstone bekannt geworden. Er hatte gezeigt, daß in dem Spectrum des elektrischen Funkens die dunkeln Linien durch die Natur des Metalles bedingt seien, von welchem der Funke überspringe, daß diese Linien für gewisse Metalle sogar charakteristisch seien, so daß man mit ihrer Hülfe mit der größten Leichtigkeit diese

Metalle von einander unterscheiden könne, daß ferner diese Linien dieselben bleiben, gleichviel, ob der Funke im luftleeren Raume, im Sauerstoff oder im kohlensauren Gase überspringe, daß man endlich, wenn der Funke zwischen zwei Conductoren von verschiedenen Metallen überspringe, die Spectra beider Metalle zugleich erblicke. Dazu kam im Jahre 1849 die interessante Entdeckung des französischen Physikers Foucault, daß die beiden glänzenden hellen Linien, die sich in dem Spectrum eines zwischen zwei Kohlenspitzen ausstrahlenden elektrischen Lichtbogens zeigen, genau mit den beiden mit D bezeichneten schwarzen Linien des Sonnenspectrums zusammenfallen. Angström vollendete diese Entdeckung durch den Nachweis, daß auch für die dunkeln Linien C, E und selbst H im Sonnenspectrum sich entsprechende helle Linien im elektrischen Spectrum finden, so daß man das eine Spectrum fast geradezu als eine Umkehrung des andern betrachten könne. Als man in den Jahren 1851 bis 1855 die eigenthümlichen Spectra untersuchte, welche beim Erglühen verschiedener Metalle unter dem Einflusse des elektrischen Stromes auftreten, zeigte sich, daß gewisse, mehreren Metallen gemeinsam zukommende dunkle Linien atmosphärischen Ursprungs waren, d. h. von der glühend gewordenen atmosphärischen Luft herrührten, und Angström suchte bereits auf Grund dieser Erfahrung die für die einzelnen Metalle charakteristischen dunkeln Linien dadurch festzustellen, daß er die Metalle in verschiedenen Gasen erhitzte und die dabei constant bleibenden Linien beobachtete. Daß auch den Gasen selbst eigenthümliche Spectra zukommen, wies endlich in den Jahren 1858 und 1859 die glänzende Entdeckung Plücker's in Bonn nach. Wenn er durch luftleer gemachte Glasröhren, die nur unwägbare Spuren irgend einer Gasart enthielten, einen kräftigen elektrischen Funken hindurchschlagen ließ, so ergab sich für jede Gasart ein besonderes Spectrum, so daß Plücker bereits die zuversichtliche Hoffnung aussprach, daß diese Spectra einst dem Chemiker den wichtigen Dienst leisten würden, die kleinsten Mengen gewisser Stoffe nachzuweisen. Zu allen diesen neuen Thatsachen muß noch die ältere Erfahrung gefügt werden, daß durch gewisse Stoffe, wie Kali- und Natronsalze, Strontian-, Kalk-, Lithion- und Barytsalze, durch Borsäure, Kupfer- und Eisensalze, der Flamme, besonders der Löthrohrflamme, ganz charakteristische Färbungen ertheilt werden, die in der That bereits zum Auffinden geringer Spuren mancher Stoffe benutzt worden waren.

So waren alle wesentlichen Thatsachen auf diesem Gebiete längst bekannt, als Bunsen und Kirchhof im Jahre 1860 ihre unter dem

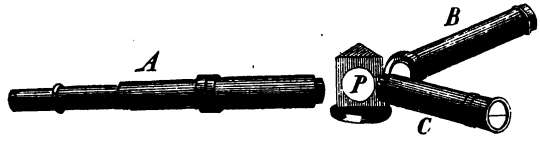
Namen der Spectralanalyse berühmt gewordene Entdeckung veröffentlichten. Das Neue, was sie brachten, und was ihrer Entdeckung den hohen Werth verlieh, was ihnen mit Recht die allgemeine Bewunderung erwarb, ist zunächst in der geistvollen Zusammenfassung der vorhandenen Thatsachen zu einer Theorie zu suchen, die zwar noch nicht über jeden Zweifel erhaben sein mag, die aber doch bereits Klarheit in viele bisher dunkle Erscheinungen brachte. Nach dieser Theorie zeigt das Spectrum jedes glühenden festen oder flüssigen Körpers stets einen hellen Lichtstreifen, welcher Strahlen von jeder Brechbarkeit enthält. Wenn aber der Körper so weit erhitzt wird, daß er zum Theil Dampfgestalt annimmt, so umgiebt er sich mit einer leuchtenden Atmosphäre, welche nur Licht von einer bestimmten Brechbarkeit ausstrahlt. In Folge dessen erscheint das Spectrum nur noch aus einzelnen, durch dunkle Zwischenräume von einander getrennten Lichtstreifen oder gar schmalen glänzenden Linien zusammengesetzt. Die dunkeln Frauenhofer'schen Linien entstehen nur durch die absorbirende Wirkung, welche diese leuchtenden Strahlen der glühenden Substanz ausüben. Die Sonne ist also nach dieser Theorie von einer leuchtenden Atmosphäre umgeben, in welcher gewisse irdische Stoffe, wie Natrium, Kalium, Magnesium, Eisen, Chrom und Nickel, sich in dampfförmigem Zustande befinden. Der feste Sonnenkörper selbst ist glühend und sendet, wie jeder glühende Körper, Strahlen von jeder Brechbarkeit aus. Wenn nun diese Strahlen die leuchtende Sonnenatmosphäre durchdringen, so werden die hellen Linien, welche die Sonnenatmosphäre für sich erzeugen würde, durch Absorption in dunkle verwandelt. Die dunkeln Frauenhofer'schen Linien des Sonnenspectrums sind also nur die umgekehrten hellen Linien der Sonnenatmosphäre, die man erblicken würde, menn man den glühenden festen Sonnenkörper hinter derselben entfernen könnte.

Eine noch größere Bedeutung erhielt die Bunsen-Kirchhof'sche Entdeckung durch ihre praktische Verwerthung, und wenn diese auch streng genommen nicht dem physikalischen Gebiete angehört, so kann sie hier doch nicht ganz unberührt bleiben. Es ist die Anwendung der Flammenspectra für die chemische Analyse, d. h. zur Bestimmung der stofflichen Natur der Körper. Bis dahin hatte man sich damit begnügen müssen, ungefähre Vergleichungen der Spectra unter einander und mit dem Sonnenspectrum anzustellen, und wenn man damit auch bisweilen der chemischen Analyse zu Hülfe kommen konnte, so mußte man doch dieser die letzte Entscheidung überlassen. Waren mehrere Stoffe

zugleich vorhanden, so mußte man vollends auf jeden Erfolg verzichten, da es unmöglich war, die oft naheliegenden charakteristischen Linien der einzelnen Spectra zu scheiden. Kirchhof gab diesem Verfahren durch eine genaue Messung der Spectrallinien eine mathematische Unterlage; er gewährte dem Beobachter die Möglichkeit, an einer feinen Scala die gegenseitige Lage der Linien abzulesen und so aus der bloßen Ziffer des Theilstrichs, an welchem sich eine charakteristische Linie befand, die Natur des Metalles, welchem sie angehörte, zu bestimmen. Auf diese Weise wurden die Hauptspectrallinien für die Alkali- und Erdmetalle festgestellt, und mit deren Hülfe der Nachweis dieser Metalle bis zu einem Grade ermöglicht, wie er in der bisherigen chemischen Analyse undenkbar schien. Der Chemiker wurde in den Stand gesetzt, durch den bloßen Blick auf das Spectrum eines zum Glühen gebrachten Körpers eine ganze Reihe seiner chemischen Bestandtheile selbst in ihren feinsten Spuren zu erkennen, deren Nachweis sonst Tage lange Mühen erfordert haben würde.

Der Apparat, dessen man sich zu diesen Spectraluntersuchungen bedient, besteht aus einem Flintglasprisma P (Fig. 100), das auf einem

Fig. 100.



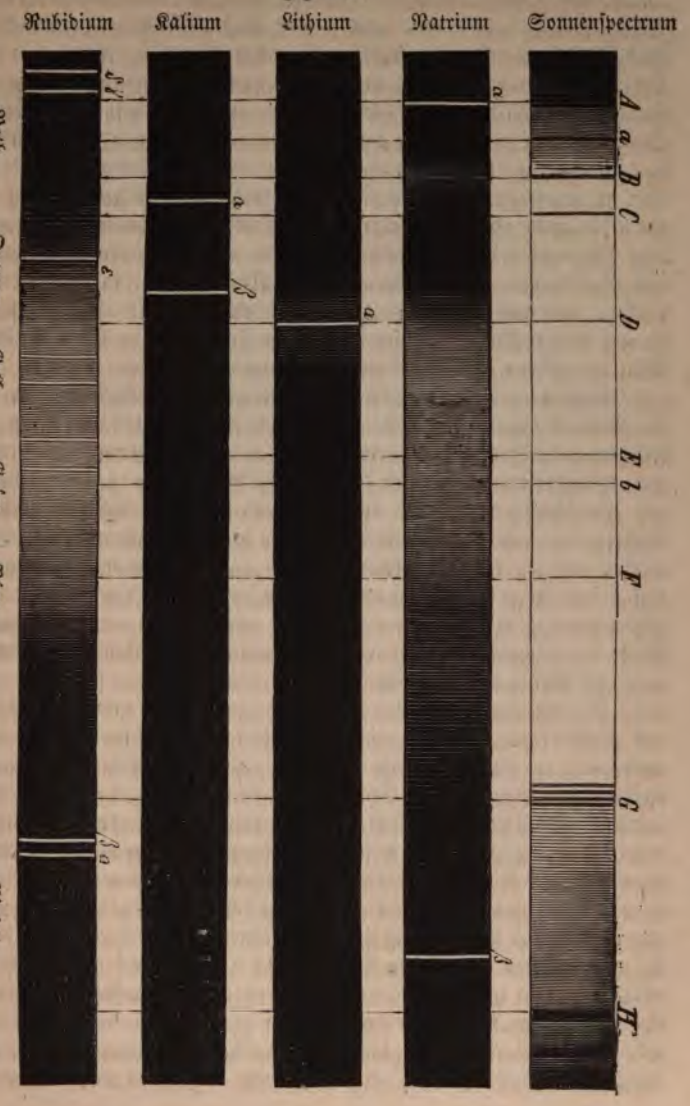
Statif festgeschraubt ist und 3 auf dasselbe gerichteten Tuben oder Röhren, von denen das eine (A) ein gewöhnliches Fernrohr ist, das zur eigentlichen Beobachtung dient. Das zweite Rohr (B) ist dazu bestimmt, das Licht einer dahinterstehenden Lampe hindurch zu lassen, und daher an seinem äußeren Ende durch eine Metallplatte verschlossen, in welcher sich ein feiner Spalt befindet. Das dritte Rohr (C) ist an seinem dem Prisma zugekehrten Ende mit einer Linse versehen, in deren Brennpunkte am äußeren Ende des Rohres eine Glasplatte angebracht ist, auf welcher sich das verkleinerte photographische Bild einer Millimeterscala befindet. Das letztere Rohr ist so gestellt, daß seine Axe mit der vordern Fläche des Prismas einen eben so großen Winkel bildet, wie die Achse des Fernrohrs A. Sieht man daher durch das Fernrohr, so erblickt man gleichzeitig das durch totale Reflexion ent-

stehende Spiegelbild der Scala und das Spectrum, welches durch das Prisma erzeugt wird. Da durch eine Drehung des Prismas allmälig das ganze Spectrum der Flamme vor dem Faden im Fernrohr vorübergeführt werden kann, und jeder Stelle des Spectrums gleichzeitig eine an der Scala zu machende Ablesung entspricht, so kann man auch genau die Lage jeder im Spectrum erscheinenden hellen Linie gegen die Frauenhofer'schen Linien bestimmen.

Bringt man in die vor dem Rohre B befindliche Flamme irgend ein Natronsalz, etwa Kochsalz, so erblickt man durch das Fernrohr nicht mehr ein buntfarbiges Spectrum, sondern eine einfache, scharf begrenzte, außerordentlich helle, gelbe Linie a (Fig. 101), die mit der Frauenhofer'schen Linie D zusammenfällt. Diese Linie ist charakteristisch für das Natrium in allen seinen Verbindungen, selbst in seiner feinsten Vertheilung. Wie weit die Empfindlichkeit dieses Erkennungsmittels geht, beweist ein Versuch der Herren Kirchhof und Bunsen, welche in der Flamme einer Gaslampe in der entferntesten Ecke ihres Beobachtungszimmers 3 Milligramme (d. h. noch nicht den 5000sten Theil eines Lothes) chlorsauren Natrons mit Milchzucker verpufften und wenige Minuten darauf in ihrem Apparate deutlich die Natriumlinie erblickten, die erst nach 10 Minuten wieder verschwand. Da aber das verpuffte Natronsalz sich erst durch die ganze Zimmerluft verbreiten mußte, ehe es zu der Flamme des Apparats gelangte, und da sich jene helle Linie doch bereits nach Verlauf der ersten Secunde mit der größten Bequemlichkeit beobachten ließ, so kann man berechnen, daß schon $^1/_{3000000}$ Milligramm des Natronsalzes hinreichte, um sich dem Auge durch das Spectrum erkennbar zu machen. Eine solche Empfindlichkeit ist noch bisher von keinem andern Erkennungsmittel auch nur annähernd erreicht worden, und es ist begreiflich, daß man auf diesem Wege einer Verbreitung des Natrons auf die Spur gekommen ist, von der man bisher keine Ahnung hatte. Alle der Luft ausgesetzten Gegenstände zeigen nach einiger Zeit beim Erhitzen die Natriumlinie, und selbst Stoffe, die man zehnmal aus Wasser, das nur mit Platin in Berührung gekommen, umkrystallisirt hat, lassen selten das Spectrum von einer Spur der Natriumlinie frei. Staub, der sich in den Zimmern absetzt, ist niemals frei von Kochsalz, und das bloße Abstäuben eines Buches genügt, um in einer Entfernung von mehreren Schritten das heftigste Aufblitzen der Natriumlinie zu bewirken.

Wenn man eine Lithiumverbindung in der Flamme des Spectralapparates erhitzt, so erscheinen gleichfalls sehr entschiedene Spectral-

Fig. 101.


Rubidium
Kalium
Lithium
Natrium
Sonnenspectrum
Roth
Orange
Gelb
Grün
Blau
Violett.
A
a
B
C
D
E
b
F
G
H

linien, eine rothe, leuchtende Linie (α) zwischen den Frauenhofer'schen Linien B und C, und eine gelbe, sehr schwache (β) bei der Linie D. Auch hier ist die Empfindlichkeit eine außerordentlich große, und die Versuche haben gelehrt, daß unser Auge noch weniger als 9 Millionstheile eines Milligramms kohlensauren Lithions mit der größten Schärfe erkennen kann. Da bisher das Lithium für einen der seltensten, nur in wenigen Mineralien und Mineralquellen vorkommenden Stoffe galt, so ist es interessant, daß die Spectralanalyse es gegenwärtig als einen der gemeinsten und verbreitetsten Stoffe nachgewiesen hat, der in dem Meerwasser des atlantischen Oceans, in der Asche von Fucoideen des Golfstroms, in dem Granite des Odenwaldes, in allem Trinkwasser, das aus diesem granitischen Boden quillt, in allen Pflanzen, die auf diesem Boden wachsen, in allen Thieren, die sich von diesen Pflanzen nähren, in nachweisbaren Mengen vorkommt.

Nicht ganz so empfindlich ist die Reaction des Kaliums und seiner Verbindungen. Es zeigt ein ziemlich ausgedehntes Spectrum, in welchem besonders zwei charakteristische Linien hervortreten, eine hellere (α) im äußersten Roth, der Frauenhofer'schen Linie A entsprechend, und eine schwächere (β) am entgegengesetzten Ende des Spectrums im Violett, mit einer Frauenhofer'schen Linie bei H zusammenfallend. Immerhin vermag das Spectrum noch $^1/_{1000}$ Milligramm chlorsauren Kali's dem Auge sichtbar zu machen, und es genügt, den Dampf einer glimmenden Cigarre vor dem Apparate zu entwickeln, um mit einem Blicke die Anwesenheit nicht blos des Natriums und Lithiums, sondern auch des Kaliums in der Cigarrenasche zu erkennen.

In ähnlicher Weise sind auch die Spectra der alkalischen Erden und verschiedener Metalle untersucht worden, und auch für sie sind, wenn auch nicht so einfache, doch immerhin sehr charakteristische Spectrallinien gefunden worden. Es war aber zu erwarten, daß dieses neue empfindliche Erkennungsmittel zu noch ganz andern Erfolgen führen würde. Hatte man dadurch in verschiedenen Körpern die Anwesenheit chemischer Stoffe erkannt, die man früher nie darin vermuthet hatte, so war es ja auch möglich, daß es chemische Stoffe gäbe, die gerade nur in so feiner Vertheilung in der Natur vorkämen, daß sie durch die gewöhnlichen Mittel der Chemie nicht nachzuweisen wären, die sich aber doch wohl im glühenden Zustande durch charakteristische Spectrallinien verrathen könnten. In der That wurde die Aufmerksamkeit der Heidelberger Naturforscher bei ihren Spectralbeobachtungen sehr bald durch eigenthümliche rothe, etwas jenseits der rothen Kaliumlinie lie-

gende und zwei prachtvolle blaue, mit der blauen Strontiumlinie durchaus nicht zusammenfallende Linien erregt. Nach vielen Bemühungen wurden die Metalle selbst, denen jene Linien angehörten, aufgefunden. Es waren zwei bisher völlig unbekannte, dem Kalium verwandte Metalle, denen man die Namen Cäsium und Rubidium gab. Dem ersteren gehörten die schönen blauen, dem letzteren die rothen Linien an. Das ziemlich ausgedehnte Spectrum des letztern (Fig. 101) zeichnet sich besonders durch zwei glänzende violette Linien (α und β) zwischen den Frauenhofer'schen Linien G und H und durch zwei an der äußersten Grenze des Roth gelegene Linien aus. Später ist es gelungen, durch die Spectralanalyse noch zwei andere Metalle zu entdecken, denen man die Namen Thallium und Indium gegeben hat, und die gleich den früheren eine ungeahnte Verbreitung in der Natur haben.

Aber die Bedeutung dieser schönen Entdeckung ist damit noch keineswegs erschöpft. Nicht allein die kleinsten Spuren der chemischen Stoffe lehrt sie uns in irdischen Körpern entdecken, sie erhebt uns auch über die Erde und erweitert das Gebiet der physikalischen und chemischen Forschung weit über die Grenzen selbst unseres Sonnensystems. Welche Schlüsse aus einer Vergleichung verschiedener Flammenspectra mit dem Sonnenspectrum auf die stoffliche Natur der Sonnenatmosphäre gezogen werden mußten, ist bereits erwähnt. Aber es war immer noch möglich, daß die schwarzen Linien des Sonnenspectrums, die dadurch entstehen, daß gewisse farbige Strahlen des Sonnenlichts absorbirt, d. h. dem durchgehenden Lichte entzogen werden, nicht in der Sonnenatmosphäre, sondern in der Erdatmosphäre ihren Ursprung nehmen. Die Vergleichnng der Farbenspectra anderer Fixsterne mit dem Sonnenspectrum hat diesen Zweifel völlig beseitigt. Die Beobachtung hat gelehrt, daß jene schwarze Linie D, welche in dem gelben Theile des Sonnenspectrums erscheint, in den Spectren des Sirius und des Castor nicht zu sehen ist, was doch der Fall sein müßte, wenn sie von der Erdatmosphäre verursacht würde. Sie kann also nur von der Sonnenatmosphäre selbst herrühren, und diese muß Natrium enthalten. Dieser Stoff fehlt dagegen den Atmosphären des Sirius und des Castor, findet sich aber wieder in der Atmosphäre des Pollux und der Capella. Eben so muß das Kalium nothwendig in der Sonnenatmosphäre enthalten sein, während das Lithium ihr fehlt. In der Atmosphäre des Sirius und anderer Fixsterne sind höchst wahrscheinlich eine Menge von Stoffen vorhanden, welche der Sonnenatmosphäre fremd sind.

Um überhaupt die in der Atmosphäre der Sonne oder irgend eines Fixsterns vorhandenen Stoffe zu erfahren, kommt es nur darauf an, alle diejenigen Stoffe ausfindig zu machen, welche die Eigenschaft besitzen, in der Glühhitze gerade jene Farben auszustrahlen, welche im Sonnen- oder Sternlichte fehlen, oder, mit andern Worten, im Spectrum einer Flamme da helle Linien zu erzeugen, wo sich im Spectrum der Sonne oder eines Fixsterns dunkle Linien befinden.

So ist die schöne Entdeckung Kirchhof's und Bunsen's auch die Grundlage einer Chemie der Gestirne geworden, welche neuerdings durch englische Forscher bereits eine Ausdehnung auf Doppelsterne und Nebelflecke erhalten hat. So verfolgt das mit dem Prisma bewaffnete Auge die Vertheilung irdischer Stoffe weit über die Grenzen der Sonnenanziehung bis in ein dunkles Jenseits, aus welchem bisher selbst das Licht nur dunkle Kunde brachte.

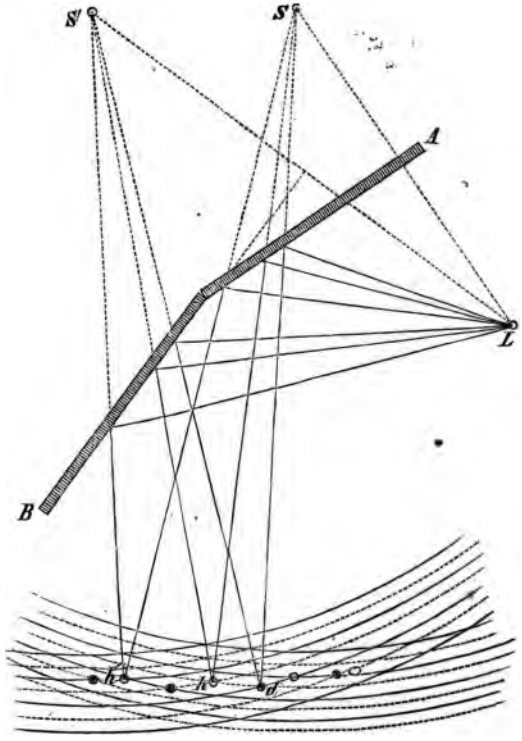
Interferenz- und Beugungserscheinungen.

Nicht blos die Kreuzung zurückgeworfener und gebrochener Lichtstrahlen, wie sie uns bei dünnen durchsichtigen Schichten begegneten, sondern auch die Kreuzung jeder zwei Lichtstrahlen, deren Wege durch Zurückwerfung oder Brechung in ähnlicher Weise abgeändert werden, muß diese farbigen Interferenzerscheinungen hervorrufen. Die Zurückwerfung oder die Brechung allein ist im Stande, die Bedingungen herbeizuführen, unter welchen die schönen Farben Newton'scher Ringe sichtbar wurden.

Wenn man zwei ebene Spiegel (A und B, Fig. 102, S. 363) unter einem sehr stumpfen, d. h. wenig von der Ebene abweichenden Winkel gegeneinander geneigt aufstellt, und irgend eine Lichtquelle (L) ihre Strahlen darauf werfen läßt, so müssen diese Lichtstrahlen so zurückgeworfen werden, als kämen sie von zwei wenig von einander entfernten Punkten (S und S') hinter den Spiegeln her. Von diesen zwei Punkten gehen dann also zwei Wellensysteme aus, die in ihrem Verlaufe einander kreuzen müssen. In jedem von S und S' gleich weit entfernten Punkte, z. B. in h, treffen diese Wellen einander natürlich in gleichen Schwingungszuständen, verstärken daher einander und erzeugen helle Stellen. Es wird dagegen andere Punkte geben, wie d, wo die Wege der zusammentreffenden Lichtstrahlen um halbe Wellenbreiten verschieden sind, wo daher Berg und Thal auf einander treffen,

und eine gegenseitige Aufhebung, eine Verdunkelung des Lichts eintreten muß. Es wird endlich wieder andere Punkte geben, wie h', wo die Wegunterschiede ganze Wellenbreiten betragen, und wo also wieder eine Verstärkung erfolgen muß. So bildet sich eine Reihe abwechselnd

Fig. 102.



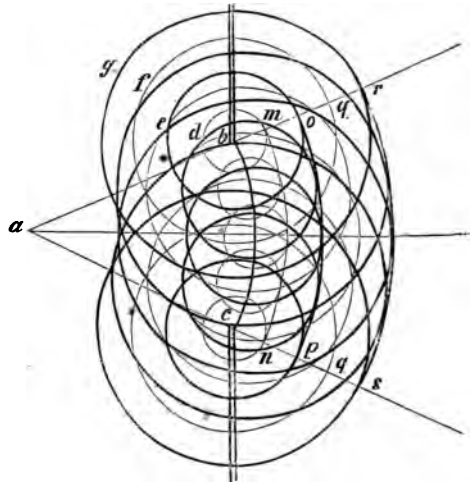
heller und dunkler oder verschiedenfarbiger Punkte, je nachdem ein farbiges oder weißes Licht von der Lichtquelle ausging. Diese Punkte aber setzen sich zu Streifen zusammen, und es entsteht so eine Erscheinung, die unter dem Namen der Fresnel'schen Interferenzstreifen bekannt ist, und die ganz den Newton'schen Ringen entspricht und ganz wie sie zur Messung der Lichtwellen benutzt werden kann. Ganz

dieſelben Interferenzſtreifen werden aber natürlich auch auf dem Wege der Brechung durch ein Prisma erzeugt, deſſen brechender Winkel wenig von 180° abweicht.

Noch andere Mittel aber ſtehen der Natur zu Gebote, um durch ſolche Farbenerſcheinungen das Auge des Beſchauers zu entzücken. Ueberall, wo verſchiedene einander kreuzende Wellenſyſteme hervorgerufen werden, ſind ja die Bedingungen dazu vorhanden. Darum iſt es häufig gerade das mikroſkopiſch Kleine, das zur Quelle der reizendſten Farbenſpiele wird.

Wenn man auf eine feine Nadel oder ein Haar einen Sonnenſtrahl fallen läßt, der durch eine enge Spaltöffnung in ein dunkles Zimmer fällt, ſo wirft dieſes Haar einen breiten Schatten, und die Ränder dieſes Schattens erſcheinen zugleich gefärbt. Wenn man überhaupt nur einen Sonnenſtrahl durch einen äußerſt feinen Spalt in einen dunkeln Raum treten läßt, ſo zeigt ſein helles Bild zu beiden Seiten regenbogenfarbige Streifen. Wenn man durch ein feines Drahtnetz gegen einen leuchtenden weißen Punkt blickt, ſo ſieht man ebenfalls prächtig gefärbte Lichtlinien. Alle dieſe Farbenerſcheinungen rühren von einer Wellenbildung her, welche durch die Störung äußerſt kleiner Körper veranlaßt wird, und die wir bereits als Beugung kennen lernten.

Fig. 103.

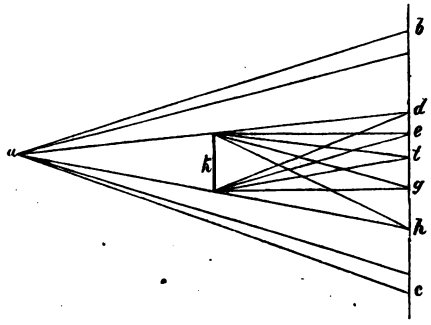


Wenn eine Waſſerwelle durch die Oeffnung in einer Wand hindurchſchreitet, ſo geht ſie bekanntlich nicht blos in ihrer urſprünglichen Richtung fort, ſondern erzeugt zugleich an den Rändern der Oeffnung b c (Fig. 103) eine Menge neuer kleiner Wellen, die ſich in ihrer vielfachen Durchkreuzung zu größeren Wellen vereinigen und nun zu bei-

den Seiten der Oeffnung ausbreiten. Diese Erscheinung, die eben als Beugung bezeichnet wurde, tritt natürlich bei Wellen jeder Art ein. Auch die Lichtwellen erleiden, wenn die Oeffnung hinlänglich fein ist, so wie es gerade die Kleinheit dieser Wellen erfordert, eine solche Beugung. Auch sie erschüttern die zu den Seiten der Spalte befindlichen Aethertheilchen und erzeugen eben so viele neue, sich um dieselben als Mittelpunkte ausbreitende Lichtwellen, die einander kreuzen und, je nachdem sie sich beim Zusammentreffen in gleichen oder entgegengesetzten Schwingungszuständen befinden, verstärken oder aufheben und schwächen müssen. So entstehen abwechselnd helle und dunkle Streifen bei durchgehendem einfarbigen Lichte, verschiedenfarbige bei weißem Lichte, welche freilich bei zunehmender Breite der Oeffnung allmälig so schmal werden, daß sie das Auge nicht mehr zu unterscheiden vermag.

Gerade wie die Schallwellen, wenn sie um Mauern und Felsen herum in unser Ohr dringen, so erleiden auch die Lichtwellen eine Beugung, wenn sie um Ränder und scharfe Kanten herum vorschreiten. Sie bilden auch hier neue schmale Wellensysteme, die dem Auge als Licht und Farbe erscheinen. Der Schatten eines Kartenblattes k (Fig. 104), an welchem aus einer feinen Oeffnung (a) ein Strahlenkegel vorüberstreift, zeigt uns darum nicht mehr das einfache Dunkel des Schattens, sondern eine Reihe farbiger oder dunkler und heller Streifen, die den halben und ganzen Wellenlängen entsprechen, um welche ihre Abstände von den Rändern des Kartenblattes verschieden sind.

Fig. 104.



Aus allen diesen einfachen Vorgängen weiß die Natur die höchste Farbenpracht ihrer Lebenswelt zu zaubern. Bald sind es zarte durchsichtige Schichten, wie die feine Oxydschicht des angelaufenen Stahls, bald feine Furchen und grübchenartige Vertiefungen, wie sie uns die Perlmutter, oder die Flügeldecken der Käfer oder die zarten Schüppchen zeigen, welche den Staub der Schmetterlingsflügel bilden, bald sind es netz- und gitterförmige Verzweigungen,

wie die schillernden Flügel der Wassernymphen, welche die Natur für ihre Farbenspiele benutzt. Es sind dieselben Erscheinungen, welche sich uns darbieten, wenn wir mit halbgeschlossenen Augen durch den Schleier unserer Wimpern, oder wenn wir durch feingewebte Zeuge oder Bänder nach einer Lichtflamme oder gegen die Sonne sehen. Oft genug werden sie Veranlassungen zu einer Täuschung unserer Sinne, und nicht immer ist es leicht zu entscheiden, ob eine Blase im Fensterglase oder eine beschlagene Brille, oder ob etwa eigenthümliche Vorgänge draußen in den fernen Räumen der Atmosphäre, oder gar droben im Gebiete der Himmelswelten selbst die Ursache zu Farbenerscheinungen enthalten, die unser Auge überraschen.

Nicht immer haben wir in der That die farbenbildende Ursache in der Ferne zu suchen, und nicht selten geht es uns, wie dem bekannten Naturforscher Brandes, welcher eines Abends durch das Fenster einen prachtvoll gefärbten Hof um den Mond sah und bereits eine ausführliche Abhandlung darüber beendigt hatte, als er zufällig das Fenster öffnete und damit die ganze Erscheinung, die eben nur auf der bethauten Fensterscheibe existirt hatte, vernichtete. Jene farbigen Höfe um Sonne und Mond sind nämlich wirklich in ganz ähnlicher Weise durch den atmosphärischen Wasserdunst gebildet, beruhen auf einer ganz ähnlichen Beugung des Lichts, wie sie uns die bethaute Glasscheibe oder das Stückchen dichter Gaze zeigt, welches wir zwischen das Auge und eine Lichtflamme halten.

Brechung, Beugung und Kreuzung der Lichtstrahlen auf ihrem Wege durch die an Hemmnissen so reiche Körperwelt sind also Ursachen der prachtvollen Farbenerscheinungen in der Atmosphäre, im Reiche der Steine und Metalle und in der bunten Gewandung der Lebenswelt, mit denen die Phantasie aller Völker gespielt hat. Störung der Lichtwellen, verschiedene Ablenkung und Zerstreuung der in ihrer Vermischung von unserem Auge als weißes Licht empfundenen Strahlen ist trotz Goethe der Zauberer des Farbenconcerts der Natur. Die heutigen Physiker sind nicht Obscuranten, wie Goethe meint, wenn sie die sinnliche Erscheinung auflösen und die Wirklichkeit der Bewegung an ihre Stelle setzen, wie nüchtern auch diese dem nur an der Fläche haftenden Blicke, dem nur nach flüchtigen Augenblicken haschenden Gemüthe erscheinen mag.

Die Fluorescenz und die übervioletten Strahlen.

Wenn man die Reihe der uns sichtbaren Farben mit der Reihe der uns hörbaren Töne vergleicht, wozu ja doch die gleichartige Natur beider als Schwingungserscheinungen berechtigt, so muß es Jedem auffallen, wie außerordentlich beschränkt die Empfindlichkeit unseres Auges für Farben ist. Wenn man die Schwingungszahlen der Farben (S. 352) betrachtet, so findet man, daß die Zahlen des äußersten Roth und des äußersten Violett, 433 und 753 Billionen, noch nicht einmal das Verhältniß einer vollen Octave ausdrücken, während die Musik bekanntlich für unser Ohr 9 Octaven umfaßt. Das äußerste Violett ist nur die Quinte des als Grundton angenommenen Roth, das Blau entspricht etwa der Quarte, das Grün der großen und das Gelb der kleinen Terz dieses Roth. Natürlich sind das keine Intervalle, wie die Tonintervalle. Es fehlt ihnen schon die Schärfe der musikalischen Verhältnisse, da, was uns als gleichartige Farbe erscheint, einem sehr geräumigen Tonintervalle entspricht, und noch weniger kann von einer psychologischen Wirkung der Harmonie und der Disharmonie auf das Gemüth, wie sie mit den betreffenden musikalischen Verhältnissen verbunden ist, die Rede sein. Sie können nur dienen, uns den geringen Umfang des sichtbaren Farbenspectrums anschaulich zu machen. Aber dieser geringe Umfang ist von großer Wichtigkeit für das Leben in der Natur.

Die Hauptwirkung der Töne beruht auf dem Nacheinandersein, der Bewegung in der Zeit. Deshalb ist unser Ohr nicht so fein organisirt, daß es schon durch diejenigen Schallschwingungen afficirt würde, in welche ein Gegenstand durch leise Erschütterungen oder durch die gewöhnlichen Bewegungen der uns und alle Gegenstände umgebenden Luft versetzt wird. Wäre dies der Fall, so würden gleichzeitig und unaufhörlich alle Gegenstände um uns herum in ihren Grundtönen klingen und unser Gehör in denselben Zustand der Verwirrung und Betäubung versetzen, in welchen wir durch ein dauerndes Geräusch gerathen.

Auf ganz anderen Bedingungen beruht die Hauptwirkung des Lichtes. Sie erfordert das Nebeneinandersein, die Ruhe im Raume. Unser Auge empfängt auf einmal das Bild der ganzen Außenwelt. Das ist aber nur möglich, wenn unser Auge so empfindlich ist, daß die Luftschwingungen, in welche alle uns umgebenden Gegenstände durch die Erregung selbst einer sehr schwachen Lichtquelle versetzt werden,

einen hinreichend starken Eindruck auf dasselbe machen, und wenn das Auge auch ebenso gut die starken Erregungen vertragen kann, in welche die Gegenstände durch das volle Sonnenlicht versetzt werden. Durch den geringen Umfang der sichtbaren Farbenscala, die noch nicht eine Octave erreicht, wird nun verhütet, daß bei zunehmender Intensität mit dem Grundtone die leicht zu weckenden Nebentöne, namentlich die Octaven, aber selbst auch die fernerliegenden Quinten, hervorgerufen werden. So erst ist der Farbeneindruck und die Gesichtserscheinung der Gegenstände überhaupt zu einer festen und bestimmten gemacht, während bei einer größeren Farbenscala in Folge der vielfach wechselnden Intensität des die Natur erleuchtenden Lichtes eine sichere und ruhige Anschauung der uns umgebenden Gegenstände unmöglich wäre, und die Farben überhaupt, ihrer Wandelbarkeit wegen, zu den störendsten und unangenehmsten Feinden des Auges gehören würden.

Das engbegrenzte Fabenspectrum, sagt einer der gründlichsten Kenner des Auges, Dr. Scheffler, ist das Gegengewicht gegen den weiten Spielraum der Helligkeit und die große Empfindlichkeit des Auges selbst für schwaches Licht; die weite Tonleiter dagegen ist der Ersatz für den engen Spielraum der Schallstärke in der Natur und die geringe Empfindlichkeit des Ohres für schwache Töne.

Wenn es hauptsächlich die geringe Empfindlichkeit unseres Auges für schneller schwingende Lichtstrahlen ist, welche für uns die Sichtbarkeit des Spectrums beschränkt, so fragt es sich, ob es nicht doch noch Lichtstrahlen geben kann, die zwar außerhalb des sichtbaren Spectrums liegen und darum von uns nicht mehr empfunden werden, die aber sonst alle Eigenschaften des Lichtes theilen. Wir kennen nun außer der Sichtbarkeit des Lichtes noch eine Eigenschaft desselben, seine chemische Wirkung, deren Anwendung in der Photographie uns noch besonders beschäftigen wird. In der That geht diese chemische Wirkung noch außerhalb der Grenzen des sichtbaren Spectrums, jenseits der äußersten violetten Strahlen vor sich. Eine Photographie des Sonnenspectrums zeigt uns dasselbe um die halbe Breite des sichtbaren Spectrums über das äußerste Violett hinaus erweitert. Wir sehen daraus, daß es allerdings noch Lichtstrahlen von stärkerer Brechbarkeit, also rascher schwingende mit kleinerer Wellenlänge giebt, als die äußersten violetten, Lichtstrahlen, deren Zerstreuung $1^1/_2$mal so groß ist, als die der äußersten rothen, und deren Schwingungszahl sich etwa auf 900 bis 1000 Billionen in der Secunde berechnen würde. Diese sogenannten *übervioletten* Strahlen stellen also fast genau den

Umfang einer vollen Octave gegen die äußersten rothen Strahlen dar. Sie sind für uns unsichtbar, d. h. afficiren unsere Sehnerven nicht in merkbarem Grade; aber sie könnten möglicherweise für andere Geschöpfe wohl sichtbar sein. Könnten sie uns sichtbar werden, so möchte man fast meinen, daß sie uns wiederum roth erscheinen würden, und in der That deutet ja das Violett gewissermaßen einen Uebergang vom Blau zum Roth an.

Ob auch jenseit des Roth das Spectrum noch Lichtstrahlen enthält, darüber vermag die Wissenschaft noch keine Auskunft zu geben. Wir kennen keine einzige Wirkung des Lichtes, durch welche solche unsichtbare überrothe Lichtstrahlen uns ihr Dasein verrathen könnten. Die chemische Wirkung des Lichtes erstreckt sich nicht einmal bis zur rothen Grenze des sichtbaren Spectrums.

Die übervioletten Strahlen aber verrathen uns ihr Dasein nicht allein durch ihre chemische Wirkung. Es giebt sogar eine Erscheinung, in welcher diese unsichtbaren Strahlen durch eine Umwandlung, die sie erleiden, durch eine Verringerung ihrer Schwingungsgeschwindigkeit nämlich, sichtbar werden. Diese Erscheinung ist die Fluorescenz.

Lange schon hat man das eigenthümliche Farbenzweierlei gekannt, welches gewisse Körper darbieten, je nachdem sie im auffallenden oder im durchgelassenen Lichte betrachtet werden. Das schillernde Farbenspiel der Chininlösung war von Chemikern, Apothekern und Aerzten oft genug beobachtet worden, und von der ähnlichen Eigenschaft der Roßkastanienrinde hatte man bereits eine praktische Anwendung gemacht, indem man sie zur Anfertigung schillernder Liqueure benutzte. Der berühmte Mineralog Hauy hatte bei manchen Flußspathsorten gleichfalls wahrgenommen, daß sie im durchgehenden Lichte stets blau erscheinen, auch wenn sie im auffallenden Lichte grün, amingelb oder nelkenroth aussehen. Das unter dem Namen des annagrünen oder Kanarienglases bekannte Uranglas verdankt seine Verwendung zu mancherlei Luxusgegenständen, zu Fläschchen, Messerbänkchen ꝛc., vorzugsweise dem Umstande, daß es ein solches mit einem angenehmen Schimmer verbundenes Farbenzweierlei zeigt, beim Durchsehen gelb, beim Daraufsehen grün erscheint. Am auffallendsten bietet dieses eigenthümliche Farbenspiel eine sehr hellgeröthete alkoholische Lackmustinctur. Hält man ein damit gefülltes Glas vor die Augen, und sieht man dann gegen das Fenster hin durch dasselbe hindurch, so erscheint die Flüssigkeit völlig durchsichtig und schön roth gefärbt; sieht man aber

auf die Flüssigkeit, so daß kein durchgehendes Licht in das Auge gelangt, so erscheint sie braun und schlammig trübe.

So interessant auch das schimmernde Farbenspiel, wie es die Chininlösung oder das Uranglas schon im gewöhnlichen Tageslichte zeigt, an sich ist, so erlangt die Erscheinung doch erst ihre ganze überraschende Höhe, wenn man ein verstärktes Licht anwendet, wie es durch ein gewöhnliches Brennglas erzeugt werden kann. Fängt man durch ein solches Brennglas L (Fig. 105) die Sonnenstrahlen auf und läßt das durchgehende Strahlenbündel in ein Glas Wasser fallen, so daß seine Spitze nur wenig in das Wasser eindringt, so sieht man bekanntlich nichts weiter, als einen hellen, ungefärbten Lichtkegel. Wirft man nun aber in das Wasser einige Stückchen Roßkastanienrinde, so nimmt plötzlich in wahrhaft überraschender Weise der Lichtkegel eine prachtvolle himmelblaue Färbung an, und seine Spitze dringt tief in das Wasser hinab. Das Wasser selbst bleibt dabei so klar und farblos, wie zuvor.

Fig. 105.

Erst wenn es längere Zeit mit der Rinde in Berührung gewesen, färbt es sich, aber nicht blau, wie der Lichtkegel, sondern gelb oder bräunlich. Auch ist die Ursache dieser Färbung, der Farbestoff der Rinde, keineswegs zugleich die Ursache der prachtvollen Lichterscheinung. Letztere hat vielmehr ihren Grund in einem in der Roßkastanie enthaltenen, eigenthümlichen Stoffe, dem Aesculin, der sehr leicht vom Wasser ausgezogen wird, aber in seiner Lösung so farblos bleibt, wie das Wasser selbst.

Aehnliche, zum Theil noch prächtigere Erscheinungen kann man sich verschaffen, wenn man andere Flüssigkeiten in Anwendung bringt. So giebt eine Auflösung von schwefelsaurem Chinin in 200 Theilen mit Schwefelsäure angesäuerten Wassers, die gleichfalls beim Durchsehen fast wasserhell erscheint, einen herrlichen lavendelblau gefärbten Lichtkegel. Der alkoholische Auszug des Stechapfelsamens, der *schon im gewöhnlichen* Lichte ein Farbenzweierlei darbietet und beim

Durchsehen bräunlich, beim Daraufsehen dunkelgrün erscheint, giebt einen schönen kaffeegrünen Lichtkegel. Bei einer im durchgehenden Lichte bekanntlich blau oder violett erscheinenden Lackmuslösung nimmt der Lichtkegel eine gelbe Färbung an, und diese ändert sich nicht, auch wenn man durch Zusatz irgend einer Säure die Farbe der Lösung in ein schönes Roth verwandelt. Die im durchgelassenen Lichte bekanntlich bräunlich oder gelb erscheinende Curcumatinctur giebt einen olivengrünen Lichtkegel, die braune Guajactinctur einen violetten, die ähnlich gefärbte Sepialösung einen bläulichen Lichtkegel, während eine stark verdünnte, hellroth erscheinende Orseilletinctur den Lichtkegel schön dunkelgrün färbt. Am überraschendsten ist die Erscheinung bei einer Lösung von Blattgrün oder Chlorophyll, die man sich sehr leicht verschaffen kann, wenn man frische grüne Blätter mit Alkohol oder Aether übergießt und eine Zeit lang bei gelinder Erwärmung damit stehen läßt. Wird das durch eine Linse concentrirte Sonnenlicht auf diese grasgrün gefärbte Flüssigkeit geworfen, so erblickt man, namentlich bei einer starken ätherischen Lösung, einen prachtvollen blutrothen Lichtkegel, der in Gestalt einer umgekehrten Flamme tief in die grüne Flüssigkeit eintaucht.

Aehnliche Erscheinungen kann man hervorrufen, wenn man statt der erwähnten Flüssigkeiten Würfel oder dicke Platten von Uranglas oder Flußspath anwendet. Man erhält in dem einen Falle einen smaragdgrün, in dem andern einen blaugefärbten Lichtkegel. Aber bei aller Pracht, mit welcher diese Erscheinungen auftreten, bieten sie doch keinen Anhalt für ihre Erklärung. Man gewinnt aber einen solchen, sobald man nicht das ganze gemischte Sonnenlicht, sondern die einzelnen farbigen Strahlen des Spectrums auf die genannten Substanzen einwirken läßt. Man findet dann, daß es vorzugsweise die übervioletten Strahlen sind, welche diese Erscheinungen hervorrufen, indem sie für unser Auge sichtbar werden. Davon kann man sich sehr bald überzeugen, wenn man einen Flußspathwürfel oder ein mit Aesculin- oder Chininlösung gefülltes Gläschen von der Grenze des äußersten Roth über das Spectrum hinführt. In dem sichtbaren Theile des Farbenbildes ereignet sich nichts Auffälliges. Sobald man aber im Violett anlangt, ändert sich plötzlich die Erscheinung. Blitzesschnell schießt quer durch den Flußspath oder durch die Flüssigkeit ein geisterhafter Schein von blauem Licht, und dieser wächst an Stärke, je weiter man über das Spectrum hinaus vorrückt, und erlischt erst allmälig wieder weit jenseits der violetten Grenze des sichtbaren Farbenbildes. An-

fangs erfüllt das räthselhafte Licht den ganzen Krystall oder das ganze Gläschen, zuletzt erhellt es nur noch die Oberfläche der Substanz. Entfernt man diese aus dem Bereich der übervioletten Strahlen, so verschwindet das Licht gänzlich; taucht man sie wieder hinein, so erscheint es augenblicklich wie durch Zauberschlag.

Der Mathematiker Stokes in Cambridge, welcher diese Erscheinung zuerst am Flußspath (Fluorcalcium) beobachtete, leitete davon den Namen „Fluorescenz" ab, indem er zugleich durch die Aehnlichkeit dieser Ableitung auf eine gewisse Beziehung derselben zur Phosphorescenz hindeuten wollte. Wir werden freilich sehen, daß beide Erscheinungen wesentlich aus einander gehalten werden müssen, und daß letztere auf ganz anderen Ursachen beruht. Schon das augenblickliche Eintreten und Verschwinden der Fluorescenz mit der Zulassung oder Entfernung des wirksamen Lichtes unterscheidet sie sichtlich von dem Nachleuchten der Phosphorescenz. Sie gleicht dem Blitze, wenn die Beleuchtung momentan ist, wenn sie z. B. durch einen elektrischen Funken hervorgerufen wird. Sie verbreitet sich auch niemals, wie die Phosphorescenz, auf die benachbarten Theile der leuchtenden Substanz, und endlich erweisen sich manche stark phosphorische Substanzen, wie Schwefelcalcium und Schwefelbarium, fast völlig unempfindlich für die Fluorescenz. Das wirklich Gemeinsame in beiden Erscheinungen ist nur, wie wir sehen werden, daß sie auf Eigenschaften beruhen, die allen Körpern, wenn auch einzelnen in besonderem Grade, zukommen.

Das Sichtbarwerden der unsichtbaren übervioletten Strahlen in den Erscheinungen der Fluorescenz erklärt sich in sehr einfacher Weise. Gerade dieselben Farben, welche in der Verlängerung des Spectrums sichtbar werden, sind es ja auch, in denen manche der fluorescirenden Stoffe, in gewissen Richtungen betrachtet, im einfachen Tageslichte schillern. Dasselbe schöne Blau, welches so geisterhaft das dunkle Spectrum durchzuckt, zeigt die farblose schwefelsaure Chininlösung, wenn man in gewisser Richtung gegen ihre Oberfläche blickt. Dasselbe prachtvolle Blutroth, mit welchem die Blattgrünlösung den übervioletten Theil des Spectrums erfüllt, zeigt auch die Oberfläche derselben, wenn man sie in der geeigneten Richtung betrachtet. Unfehlbar liegt also die Ursache dieser Färbung in den Substanzen selbst, und ihre Wirkung ist es, welche die übervioletten Strahlen des Sonnenlichts sichtbar macht. Daß ein solches Sichtbarwerden an sich unsichtbaren Lichtes denkbar ist, lehrt uns das Reich der Töne. Auch hier wird durch die Schnelligkeit der Schwingungen der Wahrnehmbarkeit für

das Ohr eine gewisse Grenze gesetzt. Zu schnelle Schallschwingungen, zu hohe Töne werden nicht mehr gehört. Aber sie werden hörbar, wenn durch irgend welchen Umstand ihre Schwingungen verlangsamt werden. Gerade so wird es auch mit den sogenannten unsichtbaren Lichtstrahlen sein. Allerdings kann man in einem völlig verdunkelten Zimmer, wenn man das Auge vor dem Einflusse der lichtstarken, gewöhnlich sichtbaren Theile des Sonnenspectrums hinreichend schützt, einen großen Theil der übervioletten Strahlen unmittelbar wahrnehmen. Aber solche unmittelbare überviolette Strahlen sind es nicht, die wir in der Fluorescenz erblicken; es sind ja vielmehr blaue, grüne, selbst rothe Strahlen, die nur dadurch aus jenen hervorgehen konnten, daß sie auf ihrem Wege durch gewisse Körper eine solche Verlangsamung ihrer Schwingungen erfuhren, daß sie nun von dem Auge als die entsprechenden Farben wahrgenommen werden können. Die Wirkung der fluorescirenden Substanzen muß also wesentlich in einer Herabstimmstng der Brechbarkeit jener brechbarsten Strahlen des Sonnenlichtes bestehen, und es fragt sich nur, wie diese Herabstimmung zu Stande kommt.

Jedem Körper kommt ebenso sein natürlicher Schwingungszustand, seine natürliche Farbe zu, wie jeder Körper von bestimmter Form seinen natürlichen Ton, seinen Grundton hat. Wenn ein Körper von einem Lichte getroffen wird, welches nicht genau denselben Schwingungszustand besitzt, wie es bei jedem Uebergange aus einem Mittel in das andere der Fall ist, so muß sich etwas Aehnliches ereignen, wie beim Zusammentreffen zweier disharmonischen Töne. Wie dort Nebenschwingungen, die sich zu Nebentönen zusammensetzten, so werden auch hier außer den dem natürlichen Schwingungszustande des Körpers angehörenden Schwingungen noch andere diesem Zustande nicht angehörende erweckt werden, also neben der natürlichen Farbe des erleuchteten Körpers auch gewisse Farben auftreten, die sowohl diesem, als dem erleuchtenden Lichte selbst völlig fremd sind. Dieses Auftreten fremder Farben ist die Fluorescenz. Man sieht daraus, daß jeder Körper fluorescirt, und daß die Stärke und die Art der Fluorescenz nicht allein von dem erregten, sondern auch von dem erregenden Lichte abhängt.

Die erzeugten Nebenschwingungen können, wie die Nebentöne in der Musik, immer nur langsamere Schwingungen sein, und zwar wird am leichtesten die tiefere Octave, schwieriger schon die absteigende Quinte oder Quarte zu Stande kommen. Das sichtbare Spectrum

umfaßt aber keine Octave; wohl aber bilden die überviolletten Strahlen die Octave zur Grundfarbe Roth. Daraus ergiebt sich die wichtige Rolle, welche die überviolletten Strahlen bei dieser Erscheinung spielen. Sie erzeugen, wenn sie mit dem erregenden Lichte auf einen Körper fallen, in diesem rothe Strahlen. Kommt auch die Quinte noch zu Stande, so werden die überviolletten Strahlen außer den rothen auch Strahlen von der rothen bis zur blauen Farbe erzeugen. Aber für die Quinte reicht auch schon das sichtbare Spectrum aus; die violetten Strahlen erregenden Lichtes können im erregten Körper rothe und orangerothe Farben hervorrufen. Kommt es endlich auch zur Verwirklichung der Quarte, so werden die überviolletten Strahlen Farben vom Gelb bis Violett, die sichtbaren blauen und violetten Strahlen Farben vom Roth bis zum Violett erzeugen. Ueber das Verhältniß der Quarte hinaus wird die Wirkung verschwindend, so daß von den oberhalb des Blau liegenden Farben keine wahrnehmbare Wirkung mehr hervorgebracht wird.

Jetzt erst werden die oben geschilderten Farbenerscheinungen der Fluorescenz ganz verständlich und wird es namentlich begreiflich, daß sich ihre Wirkung über den überviolletten Theil des Spectrums hinaus erstrecken kann. Welche Farben es sind, die eine solche Umwandlung in höher gefärbte erleiden, erkennt man am besten, wenn man das Spectrum geradezu auf der dünnen Glaswand eines breiten, mit der fluorescirenden Flüssigkeit gefüllten Gefäßes oder auf einem damit getränkten Papierschirme auffängt. Bei einer Aesculinlösung sieht man dann das gewöhnliche Farbenbild erst von der Frauenhoferschen Linie G an verändert. Bei einer Chininlösung beginnt diese Veränderung sogar erst zwischen G und H, und man erblickt statt des Indigo und Violett eine weißblaue, ins Graublaue übergehende Färbung. Bei der Blattgrünlösung wird dagegen fast das ganze Spectrum mehr oder minder dunkelroth gefärbt. Bei der Stechapfeltinctur beginnt die Farbenänderung bei F, und statt des Blau und Violett tritt eine schwache, aber deutliche grüne Färbung auf. Bei der Lackmuslösung verschwinden von D an bereits Gelb und Grün, und es zeigt sich zuerst Orange, das weiterhin in Grün übergeht. Bei der Curcumatinctur beginnt die Veränderung erst in F mit dem Hervortreten von Orange und weiterhin von Gelb und Grün. Beim Uranglas färbt sich das Spectrum von b an grün, und zwar mit Ausnahme einer Stelle zwischen F und G in ziemlich gleicher Intensität.

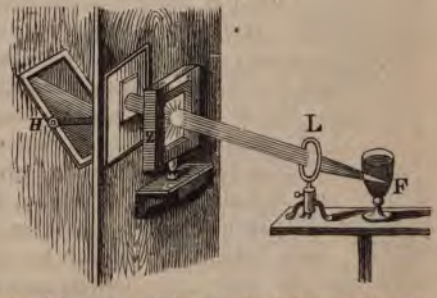
Wenn aber auch die sichtbaren Faben des Spectrums in einzel-

nen Fällen an der Fluorescenz theilnehmen, so bleibt doch die vorwiegende Rolle den übervioletten Strahlen, schon weil sie allein im Stande sind, die Octave zu erzeugen. Darum muß auch die Intensität der Erscheinung vorzugsweise von der Menge der zur fluorescirenden Substanz gelangenden übervioletten Strahlen abhängen. Diese Menge ist aber durchaus nicht immer die gleiche. Denn nicht alle für das gewöhnliche Licht durchsichtigen Körper verhalten sich auch ganz gleich in ihrer Duchlässigkeit für die übervioletten Strahlen. Das Glas absorbirt diese Strahlen sehr stark, der Bergkrystall dagegen fast gar nicht. Will man daher den übervioletten Theil des Spectrums und also auch das fluorescirende Licht in möglichster Ausdehnung erhalten, so darf man sich nicht der Glasprismen, sondern muß sich der Bergkrystallprismen zur Zerstreuung des Lichtes bedienen.

Wenn man noch zweifeln könnte, daß es nur eine Herabstimmung der Schwingungsgeschwindigkeit gewisser, vorzugsweise der übervioletten Strahlen des Lichts ist, welche der Fluorescenz zu Grunde liegt, so giebt es einen einfachen Versuch, der den überzeugendsten Beweis liefert. Man lasse nämlich das Licht das eine Mal vor, das andere Mal nach der Einwirkung der fluorescirenden Substanzen durch farbige Zwischenmittel, d. h. kleine flache, mit farbigen Flüssigkeiten gefüllte Glasgefäße (Fig. 106) oder farbige Gläser, hindurchgehen. Ist es ein blaßrauchfarbiges Glas (Z, Fig. 107), welches das Licht vor seinem Eintritte in die fluorescirende Flüssigkeit, etwa eine Chininlösung, passiren muß, so verschwindet der bekannte blaue Lichtbogen, den man sonst an der Oberfläche dieser Flüssigkeit erblickt, vollständig; er verschwindet dagegen nicht, wenn man das Glas unmittelbar vor das Auge hält. Von einem Absorbiren der blauen Lichtstrahlen durch das Glas kann hier offenbar nicht die Rede sein; es müßte ja in beiden Fällen in gleicher Weise stattfinden. Wohl aber hat in dem ersten Falle ein Absor-

Fig. 106.

Fig. 107.



biren der unsichtbaren Strahlen stattgefunden, welche nun auch nicht mehr jene Abänderung ihrer Brechbarkeit durch die fluorescirende Substanz erfahren konnten, die ihre Verwandlung in blaue Strahlen bedingt, wie wir es im zweiten Falle sehen. Bei Anwendung eines flohfarbenen Glases tritt gerade das Gegentheil ein. Hier bleibt der blaue Lichtbogen unverändert, wenn die Lichtstrahlen das Glas passiren, ehe sie in die fluorescirende Flüssigkeit eintreten, während er verschwindet, wenn man das Glas vor das Auge hält. Hier hat also das Glas unzweifelhaft die sämmtlichen unsichtbaren Lichtstrahlen hindurchgelassen, aber die daraus entstandenen blauen Strahlen vernichtet, gerade wie es die gewöhnlichen blauen Strahlen des Sonnenspectrums vernichten würde. Immer ist es also erst die Herabstimmung der Brechbarkeit insbesondere der sogenannten unsichtbaren Lichtstrahlen, welche die Farben des fluorescirenden Lichtes erzeugt.

Schon daraus, wie aus der Erklärung der Fluorescenz-Erscheinung überhaupt, geht hervor, daß die Stärke und Art der Fluorescenz nicht blos von dem erregten Körper, der fluorescirenden Flüssigkeit, sondern auch von dem erregenden Lichte abhängt. Gerade so aber, wie sich die verschiedenen Lichtquellen in Bezug auf die Farbe ihres Lichtes verschieden verhalten, senden sie auch nicht alle gleich viele unsichtbare oder überviolette Strahlen aus. Selbst das Sonnenlicht verhält sich in dieser Hinsicht verschieden. Da nämlich jeder Körper, also auch die Luft, mehr oder weniger fluorescirt, so muß das indirecte, vielfach in der Atmosphäre zerstreute Sonnenlicht namentlich bei bedecktem Himmel weniger überviolette Strahlen enthalten, als das directe Sonnenlicht und das Licht des heitern Himmels. Kerzenflammen enthalten nur sehr wenig fluorescirende Strahlen, und die braungelbe Flamme verpuffender Schießbaumwolle bringt gar keine wirkliche Fluorescenz hervor. Die Flamme des Leuchtgases ist etwas wirksamer, noch kräftiger die schwachleuchtende Alkoholflamme. Die schönsten Erscheiunngen bewirkt das unscheinbare blaue Flämmchen brennenden Schwefels und namentlich die durch zuströmenden Sauerstoff genährte Flamme des Schwefelkohlenstoffs. Schriftzüge und Zeichnungen, mit Chinin- und Aesculinlösung auf weißem Papiere ausgeführt, die im Gaslichte völlig unsichtbar bleiben, werden in dieser Beleuchtung sofort sichtbar. Noch kräftiger freilich wirkt der elektrische Funke, namentlich, wenn man ihn durch einen luftverdünnten Raum schlagen läßt und zugleich durch ein Uranglas oder eine fluorescirende Flüssigkeit betrachtet. Selbst roth- oder gelbgefärbte Zwischengläser sind dann nicht

im Stande, die Fluorescenz ganz zu unterdrücken, und blaue Schaltgläser verstärken dann meist noch die Erscheinung. Sogar das gewöhnliche weiße Glas entwickelt dabei eine Fähigkeit, zu fluoresciren, und der luftleere Glasballon erglänzt in einem magischen, deutlich grünen Lichte.

Auf dieser Wirkung des elektrischen Lichtes in luftverdünnten Räumen beruht die prachtvolle Erscheinung der sogenannten Geißler'schen Röhren. Es sind dünnwandige farblose Glasröhren, die luftleer sind, aber Spuren irgend eines Gases enthalten, und durch welche vermittelst zweier an den Enden eingeschmolzener Platindrähte elektrische Funken gesendet werden. Sind die Funken kräftig, so treten so magisch schöne Lichterscheinungen ein, daß selbst der alles Verständnisses entbehrende Laie davon mit Entzücken erfüllt wird. Von ähnlich überraschender Wirkung sind die Erscheinungen bei dem elektrischen Lichte, welches, wie später gezeigt werden soll, zwischen Kohlenspitzen durch eine kräftige galvanische Batterie erzeugt wird. Zeichnungen, mit farblosen fluorescirenden Flüssigkeiten auf weißem Papiere ausgeführt, heben sich, besonders wenn man eine blaue Kobaltglasscheibe einschaltet, selbstleuchtend von dunkelblauem Grunde ab.

Wie es schon aus der Theorie hervorgeht, ist die Fluorescenz keineswegs eine nur auf wenige Körper beschränkte, sondern eine allgemeine Eigenschaft aller Körper. Die Erfahrung hat dies bestätigt, und es hat sich namentlich herausgestellt, daß fast alle weißen und hellfarbigen Natur- oder Kunstproducte, Holz, Kork, Papier, Horn und Knochen, Elfenbein und Muscheln, ja sogar unsere Fingernägel und unsere Haut, mehr oder minder empfindlich sind für fluorescirendes Licht. Einzelne chemische Producte, namentlich mehrere Platinverbindungen, besitzen die Eigenschaft der Fluorescenz sogar in so hohem Grade, daß sie alle bereits erwähnten Substanzen übertreffen. Diese Stoffe waren es, welche Nörrenberg bei den Versuchen benutzte, mit welchen er die allgemeine Versammlung deutscher Naturforscher und Aerzte zu Wien im Jahre 1856 überraschte. Er bediente sich dabei einer einfachen Vorrichtung (Fig. 108), die er die Fluorescenztasche nannte, und die aus einer blauen Kobaltglasplatte B und einer andern durch Antimonoxyd oder Chlorsilber gelb gefärbten Platte G besteht, welche beide durch gefaltetes Leder (L L) zu einer Art Mappe oder Tasche verbunden sind. Schreibt man mit einer solchen gelbgefärbten Platinlösung (etwa Kaliumplatincyanür) auf gelbem Papiere, so ist unter gewöhnlichen Umständen nichts von der Schrift zu sehen. Legt

man aber das Papier mit der beschriebenen Seite gegen das blaue Glas in die Fluorescenztasche, und läßt dann das helle Tageslicht auf

Fig. 109.

das Glas fallen, so erblickt man die Schrift leuchtend, fast wie mit Phosphor geschrieben. Noch prächtiger zeigt sich das Leuchten solcher unsichtbaren Schrift, wenn man die Platinverbindung fein gepulvert und mit Gummischleim angerieben aufträgt.

Die Phosphorescenz.

Wenn wir bisher die Körper allgemein in selbstleuchtende und dunkle oder doch nur von fremdem, reflectirtem Lichte erleuchtete unterschieden und als selbstleuchtende solche bezeichneten, in denen nicht blos der Aether, sondern auch die körperlichen Atome in Schwingung versetzt sind, so bleibt damit doch noch eine Erscheinung unerklärt, die man als Phosphorescenz bezeichnet. Sie führt ihren Namen allerdings zunächst von dem bekannten Phosphor, der im Dunkeln schwach leuchtet, wenn er mit der atmosphärischen Luft in Berührung kommt. Sie ist aber dem Phosphor keineswegs allein eigenthümlich, sondern kommt in höherem oder geringerem Grade vielen, vielleicht allen Körpern zu. Zeigte sie sich nur bei dem Phosphor oder bei faulendem Holze, faulenden Fischen, Johanniswürmchen und Leuchtthierchen aller Art, so könnte man noch an ein schwaches Selbstleuchten denken, das durch eine langsame Verbrennung oder irgend welchen chemischen Proceß erzeugt würde. Aber sie tritt unter Umständen auf, wo an einen chemischen Proceß durchaus nicht zu denken ist.

Wenn man zwei Kieselsteine im Dunkeln an einander reibt, so beobachtet man röthliche Funken; ebenso sieht man eine Lichtentwickelung beim Spalten des Glimmers, beim Zerbrechen der Kreide, des Zuckers u. s. w. Ein chemischer Proceß kann hier so wenig stattfinden, wie bei der Lichtentwickelung, die mit der Krystallisation mancher Stoffe,

z. B. der arsenigen Säure und des schwefelsauren Natrons, verbunden ist. Ferner leuchten gewisse Varietäten des Diamants und des Flußspaths im Dunkeln, wenn sie erwärmt werden, und zwar bei einer Temperatur, die noch weit von der des Glühens entfernt ist, so daß auch hier an chemische Zersetzungen nicht gedacht werden kann. Endlich aber tritt eine Phosphorescenz bei verschiedenen Stoffen durch Insolation oder Bestrahlung ein, d. h. wenn man sie eine kurze Zeit der Einwirkung des Sonnenlichtes oder eines kräftigen elektrischen Lichtes ausgesetzt hat. In dieser Beziehung zeichnen sich wieder der Diamant und der Flußspath aus, insbesondere eine Varietät des letzteren, die ihres grünen phosphorescirenden Lichtes wegen Chlorophan genannt wird. Am auffallendsten aber wird die Erscheinung bei den sogenannten künstlichen Leuchtsteinen, die im Wesentlichen aus Verbindungen des Schwefels mit einem der Metalle der alcalischen Erden, also aus Schwefelcalcium, Schwefelbarium oder Schwefelstrontium bestehen, und unter denen der Bologneser, der Canton'sche und der Osann'sche Leuchtstein am bekanntesten sind. Wenn diese Substanzen in gehöriger Weise bereitet sind, so zeigen sie sich so stark phosphorescirend, daß sie im Dunkeln prachtvoll leuchten, auch wenn sie nur kurze Zeit dem zerstreuten Tageslichte, selbst bei bedecktem Himmel, ausgesetzt waren. In feuchter Luft verlieren sie freilich diese Eigenschaft sehr bald. Die Farbe ihres phosphorischen Lichtes hängt zum Theil von ihrer Bereitungsweise ab, zum Theil aber auch von der Temperatur, welche sie während der Bestrahlung besaßen. So kann der aus Schwefelstrontium bereitete Leuchtstein durch alle Farben vom dunkeln Violett bis zum Rothgelb leuchten, je nachdem er einer gewöhnlichen Temperatur oder einer bis zu 200° C. gesteigerten Temperatur ausgesetzt war.

Man hat häufig zwischen dieser Erscheinung und der Fluorescenz eine gewisse Verwandtschaft zu finden gesucht, und eine äußere Aehnlichkeit beider Erscheinungen ist auch nicht zu leugnen. Ein wesentlicher Unterschied zwischen beiden aber besteht in der Dauer derselben. Während das fluorescirende Licht unmittelbar mit dem erregenden verschwindet, leuchtet das phosphorescirende oft noch Stunden lang nach dem Aufhören der Bestrahlung fort. Die Dauer dieses Nachleuchtens steht übrigens in keiner Beziehung zu der Lebhaftigkeit oder Stärke des Lichtes. So erlischt das lebhafte grüne Licht, welches der bestrahlte Arragonit im Dunkeln ausströmt, bereits nach 20 Secunden vollständig, während die schwache Phosphorescenz des Chlorophans oft noch nach einer Stunde sichtbar ist. Damit ist der Gedanke nahe

gelegt, daß es vielleicht Körper gebe, die zwar auch die Eigenschaft der Phosphorescenz besitzen, aber nur für eine so kurze Daner und von solcher Schwäche, daß das gewöhnliche Auge nichts davon wahrnehmen kann. In der That hat man gefunden, daß wenn die Netzhaut des Auges durch langes Verweilen im Dunkeln zur Wahrnehmung der schwächsten Lichteindrücke fähig gemacht ist, die meisten Mineralien und Salze die Erscheinung der Phosphorescenz zeigen, freilich oft nur für wenige Secunden nach dem Aufhören der Insolation. Man hat nun aber ein Instrument ersonnen, ein sogenanntes Phosphoroskop, welches durch schnelle Umdrehung zweier mit Löchern versehener Scheiben bewirkt, daß das bestrahlende Licht zwar dem Auge entzogen wird, daß der bestrahlte Körper aber im Augenblicke nach der Bestrahlung beschaut werden kann. Ist die Umdrehung schnell genug, so beträgt die Zeit, welche zwischen der Insolation und der Beobachtung verstreicht, nur $^1/_{600}$ Secunde. In einem solchen Phosphoroskop sieht man nun eine Menge von Körpern leuchten, welche für die gewöhnliche Beobachtung keine Spur von Phosphorescenz zeigen, weil eben bei ihnen die Dauer der Erscheinung eine sehr kurze ist. Kalkspath sieht man mit orangefarbigem, Arragonit mit grünlichem Lichte strahlen, ebenso Glas, namentlich bleihaltiges. Lebhaft grün leuchtet das Uranglas, während Korund, Saphir, Rubin und verschiedene thonerdehaltige Mineralien in prachtvoll rothem Lichte phosphoresciren. Man wird kaum noch zu weit gehen, wenn man behauptet, daß alle Körper mehr oder minder die Eigenschaft der Phosphorescenz besitzen.

Wenn aber die Phosphorescenz eine allgemeine Eigenschaft aller Körper ist, fragt es sich, wie sie erklärt werden kann. Sie mit der Fluorescenz zusammen zu werfen, hindert einerseits der momentane, blitzartige Charakter der letzteren Erscheinung, andererseits die allmälige Verbreitung der ersteren über benachbarte Theile der leuchtenden Substanz. Man könnte nun ohne Weiteres an ein Selbstleuchten aller Körper denken und annehmen, daß dies eigene Licht, welches jeder Körper ausstrahlt, nur in den meisten Fällen so schwach sei, daß es nicht wahrnehmbar werde. Dagegen spricht das schließliche Erlöschen auch des lebhaftesten, durch Insolation bewirkten, phosphorescirenden Lichtes. Man wird eine haltbare Erklärung nur finden, wenn man in die Wellentheorie selbst zurückgreift.

Wir müssen zunächst zwischen den Schwingungen eines abgemessenen Körpersystems und denen eines unbegrenzten Mediums unterscheiden. Bildet die erregte Masse ein in sich völlig abgeschlossenes

System von Massen und Kräften, das durchaus von keinem wirkungsfähigen Medium umgeben ist, so muß die darin einmal vorhandene Arbeit ewig dieselbe bleiben. Jedes Theilchen wird dann einen periodischen Bewegungszustand annehmen, der für jedes andere Theilchen allerdings verschieden, für dasselbe aber immer der gleiche ist: Ein solches eigentliches perpetuum mobile verwirklicht sich in der That in jeder ideellen Maschine, in jedem Pendel, in der schallenden Glocke, in der klingenden gespannten Saite u. s. w., vorausgesetzt freilich, daß die Elasticität vollkommen, keine Reibung, kein widerstehendes Mittel vorhanden ist. Ein solches, in seinen kleinsten Theilen ewiges Schwingungssystem eines abgeschlossenen Körpers ist ein sogenanntes stehendes Wellensystem.

Wenn dagegen die erregte Körpermasse ein unterschiedsloser Theil einer unbegrenzten gleichartigen Masse ist, in welcher alle kleinsten benachbarten Theile in derselben Beziehung zu einander stehen, so muß die Art und Weise, in welcher die Körpermasse die Erregung von gewissen Theilchen empfangen hat, genau dieselbe sein, wie die, in welcher sie auf die nächstfolgenden Theilchen wirken kann. Jedes Theilchen der erregten Körpermasse wird also die volle empfangene Arbeit auf eine ihm gleiche Masse übertragen und sich nach dieser Uebertragung wieder in dem Zustande der Ruhe und Unerregtheit befinden und beharren, in welchem sie sich vorher befand. Dagegen wird die Arbeit selbst sich in dem unbegrenzten Gesammtmedium fortwälzen, also zwar auch, wie vorhin, ungeschwächt, aber stets an einem andern Orte, in einer andern Masse fortbestehen. Da nun, wie zur Entwickelung einer Arbeitsgröße, auch zur Uebertragung derselben auf benachbarte Theilchen Zeit gehört, so kann auch der Zustand jedes Theilchens während dieser Zeit nicht derselbe bleiben, sondern muß sich von dem ursprünglichen Zustande der Ruhe auf einen Höhestand der Erregung erheben und dann wieder auf den früheren Zustand der Ruhe herabsinken. Während einer solchen Schwingung empfängt und verliert also das Theilchen eine bestimmte Arbeitsgröße. Die Allmäligkeit aber, womit dieses Empfangen und Weiterbefördern der Arbeit vor sich geht, bewirkt, daß während einer solchen Schwingungsdauer die Erregung der Masse in der Fortpflanzungsrichtung über eine gewisse Strecke fortschreitet, so daß, wenn im ersten Theilchen dieser Strecke die Erregung erlischt, sie am Endpunkte derselben beginnt. Der Bewegungszustand pflanzt sich also während jeder Schwingungsdauer um eine Wellenlänge fort, indem er allmälig das Medium in alle Unendlichkeit

durchläuft. Dieser sich fortpflanzende Zustand bildet nun eine fliegende oder fortschreitende Welle im Gegensatze zu jenen stehenden Wellen.

In der Wirklichkeit giebt es aber weder ein stehendes noch ein fliegendes Wellensystem in ganzer Reinheit und Vollkommenheit. Eine stehende Welle bleibt nicht für immer beständig; es überträgt sich mit jeder Schwingung ein Theil der Arbeit auf das umgebende Medium. Eine fliegende Welle überträgt nicht genau mit jeder Schwingung die Bewegung einer Welle auf die folgende Wellenstrecke; es bleibt vielmehr etwas davon noch längere Zeit in jener ersten Welle haften. Dazu kommen nun noch andere Unvollkommenheiten der Materie, namentlich die arbeitverzehrenden Wirkungen der Reibung, des Zusammenstoßens verschiedener Geschwindigkeiten ꝛc. Wir haben es also in der Natur immer nur mit gemischten Systemen zu thun, die zwar bald vorwiegend die Eigenschaften der stehenden, bald vorwiegend die Eigenschaften der fliegenden Welle bethätigen, aber doch immer die Eigenschaften beider in sich vereinigen.

Die Lichtbewegnng bietet vorwiegend die Eigenschaften der fliegenden Welle dar. Aber jene so natürlichen Unvollkommenheiten, jenes Zurückbleiben lebender Kraft bei der Uebertragung von Welle zu Welle hat man hier gerade am häufigsten übersehen. Und doch beruht darauf eine Erscheinung, die bei der Wärme so auffallend hervortritt, die Leitung. Eine gegebene Arbeitsmenge pflanzt sich nämlich zwar nach einem ähnlichen Gesetze, wie die Erregung selbst, oder was man den Strahl nennt, doch wegen jener Unvollkommenheiten der Materie mit einer viel geringeren und von der Beschaffenheit der leitenden Körper abhängigen Geschwindigkeit fort. Hört also die erregende Ursache, die Wärme- oder Lichtquelle, auf zu wirken, so sinkt ganz allmälig auch die Erregung in jedem Theilchen, muß also in dem ersten stets schwächer sein, als in dem letzten. So kann es kommen, daß ein Theilchen oder ein Körper noch lange nach der Entfernung des erregenden Körpers seinen Bewegungszustand erhalten hat.

Bei der Verbreitung des Lichts in durchsichtigen Körpern geschieht die Fortpflanzung durch Strahlung so gut, daß eine erhebliche Veränderung der Intensität in irgend einem Theilchen nicht eintreten kann. So lange die Lichtquelle thätig ist, behält die lebende Kraft in jedem Theilchen nahezu denselben Werth; erlischt die Lichtquelle, so erlischt auch rasch die lebende Kraft. Aber streng genommen ist jene Intensität *doch nicht* unverändert die gleiche, und jenes Erlöschen nicht mo-

mentan. Die Leitungsgeschwindigkeit des Lichts selbst verschwindet zwar gegen die ungeheuere Geschwindigkeit, mit welcher sich der Lichtstrahl fortpflanzt; aber die kleine Menge lebender Kraft, welche nach dem Erlöschen des Lichtstrahls in dem durchstrahlten Körper zurückbleibt, wird uns wahrnehmbar in der Erscheinung der Phosphorescenz. So ist diese allerdings eine allen Körpern zukommende Eigenschaft. Aber da die Menge der zurückbleibenden lebenden Kraft und also auch die Zeit, während welcher die Schwingungen nach dem Erlöschen für das Auge noch sichtbar bleiben, je nach der Beschaffenheit des Körpers sehr verschieden ist, so bezeichnet man vorzugsweise nur solche Körper als phosphorescirend, welche sich durch jene Eigenschaft besonders auszeichnen.

Wenn wir also die Fluorescenz mit den Nebentönen verglichen, so haben wir jetzt die Phosphorescenz mit den Nachtönen zu vergleichen. Was bei der Wellenbewegung im Wasser die Erzeugung allmälig verlaufender stehender Wellen, was beim Schalle in der Luft die Fähigkeit, nachzuhallen, was bei der Wärme die Fähigkeit eines Stoffes, sich zu erwärmen oder zu erkalten, das ist beim Lichte die Fähigkeit, nachzuleuchten, oder die Phosphorescenz.

So hat die Wissenschaft wieder einen glänzenden Beweis für die Richtigkeit jener Lehre geliefert, welche auch das Licht als eine Wellenbewegung auffaßt. So winkt immer näher der Sieg jener großartigen, nur dem Gefühle noch, weil ungewohnt, widerstrebenden Anschauung, daß Alles in der Natur aus beständig hin und herschwirrenden, wider einanderstoßenden Theilchen besteht, und daß aus diesem Schwirren und Stoßen gleichzeitig rauschende Töne, prangende Farben, behagliche Wärme hervorgeht. So nähert sich immer mehr der Wirklichkeit jenes herrliche Bild, welches einst Dove in seiner Darstellung der Farbenlehre von dem Wellengetümmel der Körperwelt entwarf. Es ist ein großes finsteres Zimmer, in welches er uns führt. In der Mitte desselben befindet sich ein Stab, der in Schwingung versetzt ist, und zugleich eine Vorrichtung, um die Geschwindigkeit dieser Schwingung fortwährend zu vermehren. „Ich trete in dieses Zimmer", sagt er, „wenn der Stab viermal in der Secunde schwingt. Weder Auge noch Ohr sagt mir etwas von dem Dasein dieses Stabes, nur die Hand, welche seine Schläge fühlt. Aber die Schwingungen werden schneller, sie erreichen die Zahl 32 in der Secunde, und ein tiefer Baßton schlägt an mein Ohr. Der Ton erhebt sich, er durchläuft alle Mittelstufen bis zum höchsten schrillenden Ton, aber nun sinkt Alles in

die vorige Grabesstille zurück. Noch voll Erstaunen über das Gehörte, fühle ich plötzlich von der Stelle her eine angenehme Wärme sich strahlend verbreiten, so behaglich, wie sie ein Kaminfener aussendet. Aber noch bleibt Alles dunkel. Doch die Schwingungen werden noch schneller, ein schwaches rothes Licht dämmert auf, es wird immer lebhafter, der Stab glüht roth, dann wird er gelb und durchläuft alle Farben, bis nach dem Violett Alles wieder in Nacht versinkt. So spricht die Natur zu verschiedenen Sinnen zuerst ein leises, nur aus unmittelbarer Nähe vernehmliches Wort; dann ruft sie mir lauter aus immer weiterer Ferne zu; endlich ergreift mich auf den Schwingen des Lichts ihre Stimme aus unmeßbaren Weiten."

Siebentes Kapitel.

Die Wärmefarben.

Wenn es dem Physiker gelang, das sichtbare Sonnenspectrum nach der einen Seite durch Strahlen zu erweitern, die zwar nicht unmittelbar auf das Auge wirken, die sich aber theils durch andere Wirkungen verrathen, theils selbst durch Herabstimmung ihrer Schwingungsgeschwindigkeit, wie wir es bei der Fluorescenz gesehen haben, sichtbar gemacht werden können, so muß es ihn reizen, zu untersuchen, ob es nicht auch nach der andern, der rothen Seite hin von unsichtbaren, aber in anderer Weise wirksamen Strahlen begleitet ist. Diese Strahlen müssen offenbar langsamer schwingende sein, als die äußersten rothen Strahlen des Lichts. Nun beruht aber auch die Wärme auf schwingenden Bewegungen, und zwar solchen, die sich wesentlich durch ihre größere Langsamkeit von denen des Lichts unterscheiden. Es liegt also nahe, die Erweiterung des Sonnenspectrums nach der rothen Seite hin in unsichtbaren Wärmestrahlen zu suchen.

Auch die Wärmestrahlen werden nach denselben Gesetzen gebrochen, wie die Strahlen des Lichts. Sie müssen darum auch die entsprechenden Erscheinungen darbieten, eine Wärmetonleiter, wie es eine Lichttonleiter giebt, Wärmefarben, wie wir Lichttöne erkannt haben. Es muß mit andern Worten auch Wärmestrahlen von verschiedener Brechbarkeit geben.

Schon bei Besprechung der verschiedenen Fähigkeiten der Körper, Wärme durchzulassen (S. 284), wurden wir darauf aufmerksam, daß

sich nicht nur der eine Stoff in höherem Grade als der andere für die Wärme durchlässig zeigte, das Steinsalz z. B. vollkommener, als das Glas, oder gar als Alaun und Eis, sondern daß sich solche Unterschiede auch in Bezug auf verschiedene Wärmequellen geltend machten. Das Steinsalz allein sahen wir unter allen Umständen seine außerordentliche Durchlässigkeit gleich vollkommen behaupten, mochten es die leuchtenden Wärmestrahlen einer Flamme oder eines glühenden Metalls, oder die dunkeln Strahlen einer nicht bis zum Glühen erhitzten Masse sein, welche den Durchgang begehrten. Alle anderen Stoffe zeigten eine verschiedene Schwächung je nach der Art der Wärmequelle. Namentlich zeigten sie sich für dunkle Wärmestrahlen fast völlig undurchlässig, während sie die leuchtenden fast ohne Schwächung durchließen. Das bewies schon die Alltagserfahrung, daß das Glas unserer Fensterscheiben wohl den Eintritt der leuchtenden Sonnenwärme in unser Zimmer gestattet, für die dunkle Ofenwärme und die Wärmestrahlungen des Menschen aber einen undurchdringlichen, schützenden Schirm abgiebt. Es lag nahe, gradezu verschiedene Wärmearten oder doch wesentliche Unterschiede zwischen den Strahlen verschiedener Wärmequellen und noch bestimmter eine eigenthümliche Beziehung dieser Strahlen zu den Stoffen auf ihrem Wege anzunehmen.

In dieser Annahme werden wir durch eine zweite Beobachtung bestärkt. Wenn Lichtstrahlen durch eine durchsichtige, farbige Platte gehen, so verschwinden bekanntlich gewisse Strahlen; aber das übrigbleibende gefärbte Licht kann ohne eine beträchtliche weitere Schwächung noch durch eine große Anzahl von Platten derselben Färbung hindurchgehen. Etwas ganz Anderes tritt dagegen ein, wenn das Licht durch verschieden gefärbte Platten gehen soll. Die Schwächung wird dann bedeutend stärker, und zwar um so mehr, je verschiedener die Farben sind; ja sie kann bis zur völligen Verdunkelung wachsen, wenn die Farben der Platten die sogenannten Ergänzungsfarben sind. Natürlich ist es keine Vernichtung der Lichtstrahlen, die hier eintritt; es ist nur eine Zurückweisung, welche bei rothem Glase alle anderen Strahlen als die rothen, bei grünem Glase alle anderen Strahlen als die grünen erfahren, und da nun das rothe Glas nur rothe Strahlen durchläßt, für welche das grüne aber völlig undurchsichtig ist, so müssen beide Gläser vereinigt eben Dunkel geben. Ein ganz ähnliches Verhalten lehrt die wissenschaftliche Beobachtung von verschiedenen Körpern gegen die Wärme.

Wenn man nämlich Wärmestrahlen durch eine Alaunplatte gehen

läßt, so werden sie allerdings geschwächt, und ein Gleiches geschieht, wenn sie durch eine Platte von Quarz gehen. Man sollte nun meinen, daß, wenn man diese Alaunplatte und diese Quarzplatte über einander legt, die Schwächung, welche die Wärmestrahlen jetzt bei ihrem Durchgange durch beide erfahren, nicht größer sein werde, als die Summe der beiden einzelnen Schwächungen. Die Beobachtung lehrt aber, daß die Schwächung eine wesentlich andere ist. Wärmestrahlen, die einmal durch Alaun gegangen sind, werden von Quarz oder Kalkspath fast gar nicht mehr durchgelassen, obgleich Quarz und Kalkspath jeder für sich für Wärmestrahlen recht wohl durchlässig sind. Eis dagegen, das eine so äußerst geringe Durchlässigkeit für die Wärme besitzt, läßt die aus dem Alaun austretenden Strahlen fast ganz ungeschwächt hindurch. Es ist also genau so, als ob man das eine Mal durch rothe und grüne, das andere Mal durch farblose oder wenigstens gleichfarbige Gläser nach der Sonne schaute. Es ist genau so, als ob die verschiedenen Stoffe den Wärmestrahlen Etwas ertheilten, was man eine Wärmefarbe nennen möchte, als ob der Alaun etwa eine dem Roth, der Quarz eine dem Grün entsprechende Wärmefarbe besäße. Wissenschaftlich wird man sagen können: die Körper thermanisiren die Wärmestrahlen, gerade wie man von den Lichtstrahlen sagt: die Körper färben sie. Das Eine wie das Andere heißt in Wahrheit nur: gewisse Körper scheiden die bis dahin vereinigten Strahlen von einander, indem sie einigen von bestimmter Wellenbreite den Durchgang gestatten, andern ihn versagen. Bei dem Lichte wird uns die Färbung sichtbar, für die Wärme besitzen wir kein Auge; hier können wir nur auf die Farben schließen aus der Schwächung, welche in Folge der Scheidung eingetreten ist. Findet sich, daß die Strahlung einer Wärmequelle durch ein bestimmtes Mittel anders geschwächt wird, als die einer zweiten, so müssen wir schließen, daß ein Unterschied stattfindet zwischen den Wärmefarben der Wärmequellen und derjenigen Wärmefarbe, welche das Mittel besitzt und also auch durchläßt, ein Unterschied, der um so größer sein muß, je größer die Schwächung ist.

Es giebt indeß noch ein anderes Mittel, um sich von der Existenz der Wärmefarben zu überzeugen. Die Wärmestrahlen werden nämlich bei ihrem Durchgange durch die Körper ebenso gut abgelenkt oder gebrochen, wie die Lichtstrahlen. Nun besteht aber beim Lichte das Wesen der Farben in der Zerstreuung, die auf der verschiedenen Brechbarkeit der Strahlen beruht, welche wieder gleichbedeutend ist mit einer *verschiedenen* Wellenbreite oder verschiedenen Schwingungsgeschwindigkeit.

Wir sahen daher durch ein farbloses Glasprisma das Licht in farbige Strahlen zerstreut werden und in Folge dessen ein Bild erzeugen, dessen eines Ende von den brechbarsten Strahlen, den violetten, dessen anderes Ende von den am wenigsten abgelenkten Strahlen, den rothen, gefärbt wird. Giebt es daher Wärmefarben, so muß sich auch hier eine ähnliche Zerstreuung und in Folge derselben ein ähnliches Wärmebild beobachten lassen, und für die Beobachtung solcher Ablenkungen bedarf es keiner Augen, dafür sind Thermometer und Thermoskope empfindlich genug. Wie man aber beim Lichte ein möglichst farbloses Prisma anwenden mußte, so wird man natürlich auch bei der Wärme für das brechende Prisma eine Substanz wählen müssen, welche möglichst unparteiisch allen Wärmestrahlen den gleichen Durchgang gestattet. Als einen solchen Stoff, der gleichsam für die Wärme die vollkommenste Durchsichtigkeit besitzt, erweist sich das Steinsalz. Läßt man durch ein solches Steinsalzprisma Wärmestrahlen hindurchgehen, so zeigt ein empfindliches Thermoskop, daß nicht blos die Wärme verschiedener warmer Körper verschieden abgelenkt wird, die der leuchtendwarmen Körper am meisten, die der dunkelwarmen am geringsten, sondern daß auch dieselbe Wärmequelle fast stets Strahlen verschiedener Art aussendet, die verschieden gebrochen sich zu einem Wärmespectrum ausdehnen, das dem regenbogenfarbigen Spectrum des weißen Sonnenlichts entspricht und es sogar an Ausdehnung noch weit übertrifft.

Diese Uebereinstimmung zwischen Licht und Wärme wird um so auffallender, als beide so oft in innigem Verein auftreten. Das Sonnenspectrum, das unser Auge durch die bunte Pracht seiner Farben entzückt, hat auch seine unsichtbaren Wärmefarben. Schon William Herschel machte die Beobachtung, als er das Sonnenlicht durch ein Prisma in seine farbigen Strahlen zerlegte und das Thermometer über dieses Spectrum hinwegführte, daß an der Grenze des Violett die Erwärmung durchaus nicht merklich größer war, als in dem dunkeln Raume daneben, daß diese Erwärmung aber zunahm, je weiter er durch das Blau, Grün, Gelb, Orange, Roth vorschritt, und daß sie ihren höchsten Grad sogar im dunkeln Raume jenseits des Roth erreichte und erst weit darüber hinaus im Dunkel völlig verschwand. Die neuere Forschung hat diese Beobachtung bestätigt und erweitert. Jedes andere Prisma ergiebt auch ein anderes Wärmespectrum. Das breiteste Wärmespectrum zeigt ein Steinsalzprisma. Hier rückt das Maximum der Wärme weit in den dunkeln Raum jenseits des Roth hinaus, während es bei einem mit Wasser gefüllten Hohlprisma sich bis in das Gelb

zurückzieht. Glas und Wasser sind eben nicht farblos für die Wärme. Sie schwächen die Strahlen größerer Wellenbreite in höherem Maße, als die Strahlen geringerer Wellenbreite. Sie entziehen darum einen Theil des Spectrums der Wahrnehmung durch Thermoskope, gerade wie ein Glasprisma jenen übervioletten Theil des Sonnenspectrums dem Auge entzieht, welchen das Quarzprisma noch sichtbar werden läßt.

Nach diesen Erfahrungen sind es also die weniger brechbaren Strahlen des sichtbaren Spectrums, welche am kräftigsten zu erwärmen vermögen, und in Uebereinstimmung damit steht es, wenn die Maler, geleitet durch ein richtiges Gefühl, von welchem sie sich schwerlich Rechenschaft zu geben vermögen, die blauen Farbentöne als kalte, die rothen und gelbrothen als warme bezeichnen. In Uebereinstimmung damit steht es ferner, wenn erfahrungsmäßig bei Gewächshäusern die Anwendung blauer Gläser sich als vortheilhaft, die Anwendung rother oder gelber dagegen als nachtheilig erweist. Abgesehen davon, daß die letzteren nämlich die wegen ihrer chemischen Wirkungen für die Vegetation besonders nöthigen blauen und violetten Strahlen absorbiren, müssen sie zugleich in den von ihnen bedeckten Räumen eine übermäßige Temperaturerhöhung erzeugen.

So sind also unzweifelhaft neben den verschieden brechbaren Lichtstrahlen, die das Auge als Farben empfindet, ebenso verschieden brechbare Wärmestrahlen vorhanden. Ja es sind sogar Wärmestrahlen vorhanden, welche von keinen farbigen Strahlen mehr begleitet sind, dunkle Strahlen von großer Wärmewirkung, aber von weit geringerer Brechbarkeit, als sie den am wenigsten brechbaren Strahlen, die das Auge noch als Licht empfindet, den rothen, zukommt. Um wie viel reicher erscheint nach diesem Nachweise heute ein Sonnenstrahl, als er noch vor einem Jahrhundert erschien! Er ist nicht mehr eine arme Harmonie von Tönen, die kaum eine Quinte umfaßte, und von der wir nur wußten, weil unser Auge sie als Licht und Farbe empfand. Weit über jene Grenzen des äußersten sichtbaren Tones, des Violett, hinaus sehen wir unsichtbare Strahlen sich anschließen, die nur nach Art der Nebentöne in der Musik durch eine Verlangsamung ihrer Schwingungen, die sie in fluorescirenden Stoffen erleiden, in tieferen Tönen uns sichtbar werden. Weit über das Roth hinaus schließen sich abermals neue Tonreihen an, unsichtbare Strahlen, die nur Wärme wirken und als Wärme empfunden werden.

Man kann aus der Breite des Wärmespectrums annähernd die *Wellenlänge* der äußersten dunkeln Wärmestrahlen berechnen. Sie er-

giebt sich zu 0,0048 Millimeter oder 0,0022 pr. Linien. Die Wellenlänge der äußersten übervioletten oder fluorescirenden Strahlen ist aber zu 0,0003 Millimeter oder zu 0,000137 pr. Linien gefunden worden. Daraus berechnet sich die Zahl der Schwingungen in jeder Secunde für die äußersten dunklen Wärmestrahlen zu 62 Billionen, für die äußersten fluorescirenden Strahlen zu 995 Billionen. Das Intervall zwischen diesen äußersten Grenzen der unserer Wahrnehmung zugänglichen Strahlen umfaßt also ungefähr vier ganze Octaven, von denen nicht einmal eine ganze auf das sichtbare Spectrum kommt. So außerordentlich hat die neuere Wissenschaft den Sonnenstrahl erweitert.

Dieser wunderbar reiche Sonnenstrahl umkleidet nun auch die Körperwelt mit einem neuen unsichtbaren Farbenschmucke. Auch die Wärmewellen werden farbig von den Flächen zerstreut, und nicht blos der zurückgeworfene Wärmestrahl trägt das Bild der Wärmequelle in der bestimmten Richtung zurück, sondern auch zerstreute Strahlen tragen es nach allen Seiten. Wie die schwarzen Körper farbige Lichtstrahlen nicht zu zerstreuen vermögen, so giebt auch der Ruß von den Wärmestrahlen verschiedenster Art nichts wieder heraus; auch seine Wärmefarbe ist also schwarz. Matte Metallflächen dagegen zerstreuen Wärmestrahlen jeder Art ziemlich gleich gut; sie entsprechen den weißen Flächen in der Sprache des Lichts. Andere Körper zeigen ihr Zerstreuungsvermögen nur gegen bestimmte Wärmestrahlen; sie gleichen den im auffallenden Lichte farbig und bunt erscheinenden Flächen.

Bei einer solchen Uebereinstimmung zwischen Licht- und Wärmeerscheinungen kann man wohl kaum noch zweifeln, daß beide auf derselben Wellenbewegung beruhen, und nur die Schwingungsgeschwindigkeit sie unterscheidet, daß Licht und Wärme die gleiche Erscheinung sind, nur von verschiedenen Organen aufgefaßt. Der Nervenapparat der Haut empfindet sogar dieselbe Welle, die das Auge als Licht wahrnimmt; aber er vermag sie nur als strahlende Wärme zu empfinden. Beide Empfindungen sind in unserm Organismus einander so fremd, daß wir uns nicht wundern können, wenn es erst der Wissenschaft der neuesten Zeit gelang, sie auf die gemeinsame Grundlage zurückzuführen. Der Nervenapparat der Haut ist in der weitesten Ausdehnung für diese Strahlungen empfänglich. Er empfindet die leuchtende Wärme der Sonne wie die unsichtbaren Strahlen eines heißen Ofens. Aber ihm fehlt das Vermögen, die Farbe der Strahlung, d. h. die Unterschiede ihrer Schwingungsdauer aufzufassen; er empfindet die Strahlen

der Sonne als ebenso unterschiedslose Wärme, wie die des Ofens. Auch besitzt die Haut nichts, was jenen optischen Apparaten entspräche, durch welche unsere Netzhaut die Strahlungen jedes einzelnen Punktes im Gesichtsfelde auch auf einen einzigen Punkt der Nervenausbreitung vereinigt und nach Richtung und Oertlichkeit scharf von allen übrigen sondert.

In seiner großen Empfindlichkeit ist unser Auge dafür auf einen enger begrenzten Theil der Strahlungen angewiesen. Die brechenden Mittel unseres Auges sind keineswegs ganz farblos, keineswegs ganz unparteiisch gegen die Strahlen, welche von ihnen den Durchgang begehren. Die Strahlen, welche eine größere Wellenbreite als die sichtbaren rothen besitzen, werden von der Substanz des Auges ebenso absorbirt, wie die chemisch wirkenden übervioletten. Das Auge verhält sich etwa ähnlich wie ein Wasserprisma, welches im Gelb das Maximum der Intensität zeigt, weil es Strahlen jeder andern Wellenbreite stärker schwächt. Darum wird auch das Auge in jedem Spectrum, durch welche Substanz es auch erzeugt werden mag, stets die größte Helligkeit im Gelb erblicken. Darum vermag aber auch das Auge nur Strahlen zu empfinden, welche durch Körper gegangen sind, die eine ihm verwandte Wärmefarbe besitzen, wie etwa Glas oder Wasser, während für ein Thermoskop, dessen Substanz eine andere Wärmefarbe hat, diese Strahlen vielleicht schon zu sehr geschwächt sind, um eindringen und Wärme anzeigen zu können. Wir haben ja Erscheinungen dieser Art in Menge um uns. Ein Glasspiegel z. B. reflectirt die Sonnenwärme so gut wie das Sonnenlicht; aber er reflectirt nicht mehr die Wärme eines Kerzenlichts. Das Glas schwächt eben die Strahlen der niederen Wärmequelle in so hohem Grade, daß sie nur für einen Körper von derselben Wärmefarbe, also eben für das Auge, noch Intensität genug besitzen, um wahrgenommen zu werden, aber nicht mehr für die Thermoskope. Auch der Mond ist ein solcher Spiegel. Das von ihm reflectirte Sonnenlicht wird wohl gesehen und kann selbst stark chemisch wirken; aber seine erwärmende Wirkung ist für unsere Thermoskope von so geringer Intensität, daß Melloni nur mittelst bedeutender Concentrirung der Mondstrahlen und an den empfindlichsten Thermoskopen ihre Wärme nachzuweisen vermochte.

Manches Dunkel in unserer Erkenntniß der Natur ist gelichtet, seit man es aufgegeben hat, Wärme und Licht als unwägbare Stoffe zu betrachten und mit gespenstigen Kraftwesen ein mystisches Spiel zu *treiben*. Aber noch immer gilt in mehr als einer Hinsicht des großen

Newton Ausspruch: Einer der dunkelsten Gegenstände ist das Licht! Noch ist in dieser Wissenschaft Manches aufzuklären. Noch bedürfen wir der Annahme eines Aethers, von dem keinem menschlichen Organ bisher eine Kunde geworden ist, um die Wirkungen der Wärme auf die Körperwelt zu erklären. Die Schwingungen dieses Aethers sollen sich einerseits vermöge ihrer großen Geschwindigkeit den Massentheilchen eines Körpers mittheilen und die träge Körpermasse in Bewegung zu setzen vermögen. Die massenhaften Körpertheilchen sollen andererseits trotz der geringen Geschwindigkeit ihrer Schwingungen die unendlich kleinen Aethertheilchen in Bewegung setzen. So erklärt sich die Erzeugung von Wärme durch Druck, so die Ausdehnung durch die Wärme. Nach dieser Vorstellung kann es in der That keinen absolut kalten oder absolut dunklen Körper mehr geben. Jeder Körper ist warm, denn ununterbrochen sind seine Theilchen und die des in ihm enthaltenen Aethers in Schwingung begriffen. Freilich nehmen wir diese ununterbrochenen Schwingungen ihrer geringen Schnelligkeit oder Intensität wegen nicht immer wahr. Erst wenn die Aetherschwingungen einen gewissen Grad von Intensität erreichen, so daß sie auch die Schwingungen der Körpertheilchen verstärken, werden wir eine Ausdehnung des Körpers erkennen, die bis zu einer Aufhebung des Zusammenhangs der Theilchen, bis zu einer Aenderung des Aggregatzustandes fortschreiten kann. Der Widerstand, welchen die Anziehungskraft der Theilchen ihrer ferneren Trennung entgegensetzt, wird sich uns in jener Wärme kundgeben, welche der Körper in sich aufnimmt, ohne sie zur Erhöhung seiner Temperatur zu verwenden, und die man als latente Wärme bezeichnet. Diese und andere Erscheinungen werden näher besprochen werden, wenn wir die Entstehungs- und Wirkungsweisen der Wärme, den Uebergang aus der Wellenbewegung in mechanische Bewegungen und umgekehrt betrachten.

Auch der Aether wird einst seines mystischen Gewandes entkleidet werden. Dann wird die Wissenschaft von Wärme und Licht vollends zu einem Theile jener Wissenschaft der Mechanik werden, an die sie sich jetzt schon durch die Gesetze der Wellenlehre so innig anschließt. Dann wird man auch nicht den Verlust der poetischen Reize beklagen, die sie jetzt noch schmücken. Mathematische Bestimmtheit ist ein Gewinn, der solche Verluste reichlich aufwiegt. Die wahre Poesie liegt überhaupt nicht in mystischer Unklarheit, sondern in der Verknüpfung der Form mit den ewigen Ideen des Geistes.

Achtes Kapitel.

Die doppelte Brechung und die Polarisation des Lichtes und der Wärme.

Die doppelte Brechung.

Man hat der Wissenschaft oft den Vorwurf gemacht, sie verwickle sich in Folge ihrer Forschungen immer mehr und werde dadurch der großen Menge immer unzugänglicher. Aber diese Verwicklungen sind gerade die fruchtbarsten Keime der Wissenschaft, sie führen gerade am sichersten zur Klarheit. Es ist wahr, seit man über das Ptolemäische, über das Copernikanische Planetensystem hinausgegangen ist, seit man selbst Kepler's elliptische Planetenbahnen nicht mehr genügend für die Erklärung der himmlischen Bewegungen gefunden hat, seit man die verwickelte Lehre von den Planetenstörungen in die Astronomie eingeführt hat, ist diese Wissenschaft kein Feld mehr, auf dem der Laie mühelos die Früchte der Erkenntniß oder wohl gar die Kränze des Ruhmes pflücken kann. Aber gerade diese Störungen waren es, die ein Licht verbreiteten über die Massen der Himmelskörper, die dem Astronomen gestatteten, das Wiedererscheinen von Kometen zu prophezeihen, die ihn selbst zur Entdeckung bis dahin unbekannter und ungeahnter Planeten führten. So waren es auch die Störungen in den Bahnen der Lichtstrahlen, die sogenannten Interferenzen, welche die Messung der Lichtwellen möglich machten. So werden es nun wieder andere Störungen sein, die freilich auf den ersten Blick die Erscheinungen vielleicht bis zur Unkenntlichkeit zu verwickeln scheinen, die aber in ihrer denkenden Verfolgung uns die Art und Richtung der Lichtschwingungen erkennen lassen und damit die Erkenntniß dieser zarten Wellenwelt bis zu jenem Grade vollenden werden, den man sonst wohl nur auf den Gebieten der groben Schall- und Wasserwellen für erreichbar halten möchte.

Es war um die Mitte des 17. Jahrhunderts, als einer der heftigsten wissenschaftlichen Kämpfe ausbrach, in welchem sich die größten Geister des Jahrhunderts, Newton und Huyghens, als Kämpfer gegenüberstanden. Es galt dem Streite über die Natur des Lichts, über die Ableitung und Begründung des von Carteſius mit mathematischer Strenge aufgestellten Brechungsgesetzes aus einer der feindlichen Lichttheorien, der Emanations- oder Undulationstheorie. Es galt zu entscheiden, ob das Newton'sche Princip der Anziehung oder die Huyghens'sche Hypothese der Wellenbewegung die Grundlage für künftige Forschungen auf dem Gebiete des Lichts bilden sollte. Mitten in diesem Kampfe — es war im Jahre 1669 — brachte ein Reisender von den

Ufern des Rödefiord auf Island die ersten jener schönen rhomboëdrischen Kalkspathkrystalle (Fig. 109), die seitdem den Namen des isländischen Doppelspaths führen, nach Kopenhagen. Ihre außerordentliche Durchsichtigkeit bei beträchtlicher Dicke ließ sie für die damals so wichtigen Brechungsversuche besonders geeignet erscheinen. Wie groß war aber das Erstaunen, als der dänische Physiker Bartholin, dem sie zu diesem Zwecke übergeben wurden, bei seinem ersten Versuche fand, daß das Licht sich in ihnen in zwei abgesonderte Strahlenbündel (bd u. bc. Fig. 110) von völlig gleicher Lichtstärke theilte, daß durch den isländischen Krystall mit andern Worten alle Gegenstände doppelt gesehen wurden! Die Richtuug und Größe der Abweichung beider Strahlen wechselte überdies je nach der Krystallfläche, welche man dem Lichtstrahle zuwandte, und je nach der Richtung, in welcher man ihn einfallen ließ, in so wunderbarer Weise, daß eine Erklärung der Erscheinung fast undenkbar schien. Huyghens gelang es allerdings, alle diese Erscheinungen unter ein allgemeines Gesetz zusammenzufassen; aber trotz seiner Einfachheit und Klarheit fand dieses Gesetz keine Anerkennung. Newton hatte das Reich der Speculation zerstört und die Macht der Hypothesen gebrochen; seitdem haßte man jede Hypothese, und auch Huyghens Gesetz beruhte ja doch immer auf einer solcher, auf der Annahme von schwingenden Wellen im Lichte.

Fig. 109.

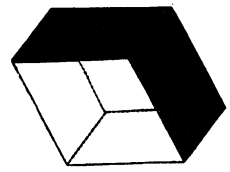
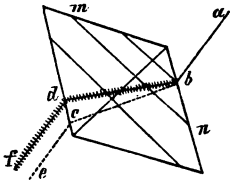


Fig. 110.



Länger als ein Jahrhundert ward durch diese Leidenschaft der Fortschritt der Wissenschaft auf diesem Gebiete gehemmt. Man begnügte sich einfach damit, das bei der Doppelbrechung im isländischen Kalkspath auftretende zweite Strahlenbündel als eine Ausnahme von jenem carteſischen Brechungsgesetze anzusehen, welchem doch wenigstens die andere Hälfte des durchgehenden Lichtes unverändert treu bleibe. Man meinte also, der Kalkspath gewinne gleichsam als Krystall gewisse besondere Eigenschaften, ohne diejenigen zu verlieren, welche er mit allen durchsichtigen Körpern gemein hat.

Die Thatsachen mußten erst verwickelter werden, man mußte sie erst mit mehr in's Einzelne gehender Aufmerksamkeit prüfen, ehe die ein-

sachen zu Grunde liegenden Ursachen an's Licht treten konnten. Denn erst dann, wenn die einzelnen Gesetze nicht mehr alle beobachteten Thatsachen umfassen, kann das allgemeine Gesetz, welches die einzelnen Gesetze als besondere Fälle in sich schließt, gefunden werden. Die einzelnen Gesetze gehen aus Beobachtungen, die allgemeinen aus der Erkenntniß der Ursache hervor.

Solch eine alle bisherigen Regeln umstoßende Thatsache war es, auf welche der französische Physiker Fresnel im Anfange dieses Jahrhunderts die Aufmerksamkeit lenkte. Er zeigte nämlich, daß es Krystalle giebt, bei denen keiner der beiden Strahlen, in welche sich das einfallende Licht spaltet, den Regeln der gewöhnlichen Brechung folgt, beide vielmehr unregelmäßige, abweichende Brechungen erleiden und Wege einschlagen, die das cartesische Gesetz ihnen nicht anweist. Er zeigte diese Erscheinung, welche auf den ersten Blick das ganze stolze Gebäude unserer Theorie vom Lichte über den Haufen zu stürzen droht, an einer aus zwei gleichen Prismen zusammengesetzten Platte von Topas. Auch andere Krystalle, wie der Anhydrit, der Salpeter, der Arragonit, Glimmer und Talk, bieten dieselbe auffallende Erscheinung dar.

Wenn man eine Thatsache erklären will, so darf man nicht bei ihr stehen bleiben. Die bloße Verdoppelung des Lichtstrahls beim Durchgange durch gewisse Krystalle, die bloße Abweichung von den bekannten Gesetzen der Brechung darf nicht genügen; man muß weiter nachforschen, ob der regelwidrig abgelenkte Lichtstrahl nicht auch noch andere Veränderungen erlitten hat, man muß versuchen, ob nicht auch durch künstliche, ganz in die Macht der Beobachtung und Rechnung gestellte Mittel dieselben Erscheinungen hervorgerufen werden können. In der That führt dieser Weg der Forschung zu einer zweiten räthselhaften Erscheinung, die mit der doppelten Brechung in innigem Zusammenhange steht, die aber zugleich in diesem Zusammenhange die Erklärung beider Erscheinungen an die Hand giebt.

Die Polarisation des Lichtes.

Jeder Lichtstrahl, welcher in einem isländischen Doppelspath eintritt, an welcher Fläche oder in welcher Richtung es auch geschehen möge, wird, wie bereits erwähnt, in zwei Strahlen oder Strahlenbündel zerlegt. Den einen Strahl, welcher dem Brechungsgesetze folgt, pflegt man den **ordentlichen** zu nennen; den andern, weniger abgelenkten *hl dagegen*, der nicht einmal immer, wie es das allgemeine

Brechungsgesetz verlangt, in derselben Ebene mit dem einfallenden Strahle und dem Einfallslothe liegt, und dessen Brechungsverhältniß sich sogar mit der Richtung, in welcher der Lichtstrahl den Krystall durchläuft, ändert, bezeichnet man als den *außerordentlichen*. Man kann nun die Erscheinung vervielfältigen, indem man in einiger Entfernung einen zweiten Krystall anbringt, von derselben Beschaffenheit, ja sogar in derselben Lage, so daß die entsprechenden Flächen beider Krystalle einander parallel sind. Selbstverständlich treten in Folge der Doppelbrechung aus dem ersten Krystall zwei Strahlen hervor. Diese beiden Strahlen sollen nun auch in den zweiten Krystall eintreten. Natürlich muß man erwarten, daß hier jeder dieser Strahlen abermals eine Verdoppelung erfahren werde, so daß man vier gesonderte Strahlen, vier Bilder zu sehen bekomme. Aber diese Erwartung wird durchaus getäuscht. Die zwei Strahlen bleiben zwei; der ordentliche Strahl geht wieder als ordentlicher hervor, und der außerordentliche erleidet wieder seine außerordentliche Brechung. Der Lichtstrahl hat also beim Durchgange durch den ersten Krystall offenbar seine ganze Natur geändert; er hat durch die erlittene Spaltung seine, wie es bisher schien, unveräußerliche Eigenschaft verloren, beim Durchgange durch einen isländischen Krystall doppelt gebrochen zu werden.

Beim ersten Blicke auf diese Thatsache kann wohl der Gedanke aufsteigen, daß in jedem natürlichen Lichtstrahle gleichsam zwei verschiedene Arten von Licht vereinigt seien, von denen die eine nur der gewöhnlichen, die andere nur der ungewöhnlichen Brechung fähig sei. Indeß darf man auch bei dieser Erscheinung nicht stehen bleiben, da eine kleine Abänderung der äußeren Umstände auch ihr eine völlig neue Gestalt geben kann. Dies tritt in der That ein, wenn man den zweiten Krystall, ohne daß er seine parallele Lage gegen den ersten ändert, sich langsam um sich selbst drehen läßt. Dicht neben dem Bilde jedes der beiden Strahlen tritt sehr bald ein zweites, anfangs sehr schwaches, aber immer deutlicher werdendes Bild hervor, während das ursprüngliche verbleicht und endlich vollständig von dem neuen Bilde verdrängt wird. Nach einer vollen Vierteldrehung des Krystalls um sich selbst sind wieder nur zwei Lichtstrahlen vorhanden, aber sie haben merkwürdigerweise ihre Naturen vertauscht: der ordentliche Lichtstrahl ist jetzt zum außerordentlichen, der außerordentliche zum ordentlichen geworden.

Diese neue Beobachtung muß auch wieder eine veränderte Vorstellung von der Natur dieser beiden Lichtstrahlen veranlassen. Die

aus der Spaltung hervorgegangenen beiden Lichtstrahlen können durchaus nicht mehr als verschiedener Natur gelten; sie haben ja beide genau die gleichen Eigenschaften, und jeder zeigt die des andern, sobald er eine Vierteldrehung um sich selbst gemacht hat. Man wird sich also diese Thatsache so erklären müssen, daß ein Lichtstrahl gleichsam verschiedene Seiten besitzt und, je nachdem er uns die eine oder die andere zuwendet, die Eigenschaft des ordentlichen oder des außerordentlichen Strahles zeigt. Es klingt freilich wunderbar, daß vielleicht Millionen Lichtstrahlen durch ein Nadelöhr gehen sollten, ohne einander zu stören oder zu hemmen, und daß wir trotz dieser unbegreiflichen Feinheit im Stande sein sollen, die verschiedenen Seiten eines Lichtstrahls zu betrachten und die abweichenden Eigenschaften derselben zu entdecken. Indeß werden wir doch finden, daß noch andere Thatsachen diese kühne Annahme rechtfertigen.

Einigermaßen erinnern die Seiten eines Lichtstrahls mit ihren Gegensätzen an die Gegensätze, welche die Seiten eines Magneten zeigen, die man Pole nennt. Allerdings ist die Erscheinung dort eine wesentlich andere: die ungleichen Pole liegen dort einander gegenüber, während hier die gegenüberliegenden Seiten gleiche, die an einander liegenden abweichende Eigenschaften zeigen. Indessen hat man doch den Namen von der einen Erscheinung auf die andere übertragen und so auch die verschiedenen Seiten des Lichtstrahls *Pole* genannt. Es ist das zu einer Zeit geschehen, wo man noch mehr, als heute, an Lichtatome, an Lichttheilchen dachte, die freilich mehr Aehnlichkeit mit Magneten besitzen mochten, als unsere Lichtwellen. Ueberhaupt bezeichnet man als *polarisirte* Strahlen solche, die, aus der Spaltung des Lichtstrahls in doppeltbrechenden Krystallen hervorgegangen, mit verschiedenen Eigenschaften begabte Seiten zeigen, im Gegensatze zu den Strahlen des *natürlichen* Lichtes, welche ringsum gleiche Eigenschaften besitzen. Man nennt ferner zwei Lichtstrahlen *in derselben Ebene polarisirt*, wenn sie ihre gleichen Pole nach denselben Richtungen kehren, und man nennt zwei Lichtstrahlen *rechtwinklig polarisirt*, wenn ihre Pole senkrecht gegen einander gerichtet sind. Man bezeichnet es endlich als eine vollkommene Polarisation, wenn der polarisirte Strahl, durch einen zweiten Doppelspath betrachtet, nur *ein* Bild zeigt, während es als eine unvollkommene Polarisation gilt, wenn in diesem Falle zwei mehr oder minder gleich deutliche Bilder hervortreten.

So weit waren die Erscheinungen der Polarisation des Lichtes

auch Newton und Huyghens schon bekannt; aber es mußte über ein Jahrhundert verfließen, ehe neue Thatsachen entdeckt wurden, welche jenen Erscheinungen eine allgemeinere und umfassendere Bedeutung verliehen.

Polarisationswinkel und Polarisationsapparate.

Um das Wesen einer Naturerscheinung zu ergründen, muß man, so weit es möglich, alle ihre Seiten kennen, namentlich aber alle die Bedingungen erschöpfen, welche sie hervorrufen können. Die doppelte Brechung im Doppelspathkrystall ist aber bei weitem nicht das einzige Mittel, den Lichtstrahl zu polarisiren, d. h. ihm die Eigenschaft zu rauben, sich beim Durchgange durch einen solchen Doppelspathkrystall in zwei Strahlenbündel zu spalten.

Als der französische Physiker Malus eines Tages — es war im Jahre 1808 — sich anschickte, die von den Fensterscheiben des seiner Wohnung gegenüberliegenden Palais Luxembourg zurückgeworfenen Sonnenstrahlen mit einem doppelt brechenden Krystalle zu untersuchen, gewahrte er zu seinem Erstaunen statt der zwei leuchtenden Bilder, die er doch erwarten mußte, nur eines, und zwar, je nach der Lage, welche der Krystall vor seinem Auge hatte, entweder das ordentliche oder das außerordentliche Bild. Als er seinen Versuch etwas abänderte, als er das Licht einer Kerze unter einem Winkel von 36^0 auf eine Wasserfläche, unter einem Winkel von $35^0\ 25'$ auf einen Glasspiegel fallen ließ, so ergab die Anwendung des doppeltbrechenden Krystalls dasselbe Resultat. Das zurückgeworfene Licht zeigte sich also gerade so polarisirt, als ob es aus einem Doppelspath käme.

Malus kehrte nun seine Versuche um; er ließ durch Doppelbrechung polarisirte Lichtstrahlen auf spiegelnde Flächen fallen. Zwei Jahrtausende hindurch hatte alle Welt geglaubt, daß Lichtstrahlen, wenn sie auf Körper, selbst von der größten Durchsichtigkeit, fallen, wenigstens theilweise von ihren Flächen zurückgeworfen werden müßten, wie auch der Einfallswinkel und wie die Stellung der spiegelnden Fläche beschaffen sein möge. Jetzt zeigte sich, daß für das polarisirte Licht diese so allgemein gehaltene Thatsache nicht gilt, daß es für das polarisirte Licht stets eine Lage des Spiegels giebt, in welcher jede Reflexion aufhört, wenn man den Strahlen zugleich einen bestimmten Einfallswinkel giebt, der von dem Material des Spiegels abhängt. Ein Lichtstrahl, der von einem Spiegel zurückgeworfen wurde, wird von

einem zweiten Spiegel nur dann vollkommen widergespiegelt, wenn er unter einem bestimmten Winkel, den man eben den Polarisationswinkel nennt, und welcher bei Glas 35° 25′ beträgt, auffällt, und wenn zugleich beide Spiegelungsebenen zusammenfallen. Steht dagegen die zweite Spiegelungsebene senkrecht auf der ersten, so wird der Lichtstrahl gar nicht mehr gespiegelt und verschwindet vollkommen.

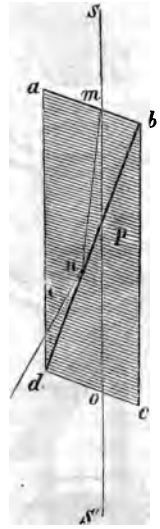
Wohl schwerlich hat der Leser, wenn er sich im Spiegel beschaute, je daran gedacht, daß es Licht geben könne, welches vom Spiegel nicht zurückgeworfen wird! Es giebt in der That wohl auch nichts, was geeigneter wäre, die Wißbegier zu reizen, als diese seltsame Thatsache, die so unvereinbar mit der angenommenen Theorie vom Wesen des Lichts erscheint. Könnte man noch an stoffliche Lichtatome glauben, dann könnte man sich vielleicht vorstellen, daß diese Atome gleichsam zwei Seiten hätten, eine leuchtende und eine dunkle, die sie nach Umständen abwechselnd uns zukehrten. Im Reiche der Wellen freilich hat diese Vorstellung keinen Sinn mehr. Die Erklärung wird schließlich nicht vorenthalten werden. Zuvor aber gilt es, die andern Mittel aufzusuchen, welche dazu dienen können, Polarisationserscheinungen hervorzurufen.

Zunächst fand Malus schon anderthalb Jahre nach jener berühmten nächtlichen Entdeckung, daß auch das Licht, welches durch eine dicke Glasplatte oder noch besser durch eine Säule von über einander gelegten Glasplatten auf dem gewöhnlichen Wege der Brechung gegangen ist, unter gewissen Winkeln deutliche Spuren einer vollständigen Polarisation zeigt, daß es also durch eine zweite Plattenschicht nur dann hindurchgeht, wenn beide Ebenen einander parallel sind, hingegen zurückgeworfen wird, wenn sie senkrecht auf einander gestellt sind. Er erkannte zugleich, daß dieser gebrochene Strahl und jener von den Plattenschichten zurückgeworfene Strahl in genau entgegengesetztem Sinne, d. h. rechtwinklig auf einander polarisirt sind, so daß sie sich wie der ordentliche und außerordentliche Strahl bei der Doppelbrechung verhalten.

Aber auch die bloße Lichtabsorption in farbigen durchsichtigen Körpern vermag Polarisationserscheinungen hervorzurufen. Das beweist insbesondere der Turmalin. Er gehört gleichfalls zur Klasse jener krystallisirten Mineralien, welche die Eigenschaft der Doppelbrechung besitzen. Schneidet man aus einem Turmalin eine dünne *Platte, deren* Oberfläche der Hauptaxe des Krystalls parallel ist, so

spaltet diese, wie der isländische Doppelspath, jeden hindurchgehenden Lichtstrahl in einen ordentlichen und einen außerordentlichen. Ist aber die Turmalinplatte dunkel gefärbt und zugleich dick genug, so läßt sie nur den außerordentlichen Strahl hindurchgehen, während sie den ordentlichen vollkommen absorbirt. Legt man daher zwei solche Turmalinplatten über einander, so daß ihre Krystallaxen parallel sind, so lassen sie das einfallende natürliche Licht ebenso gut durch, wie eine einfache Platte, die so dick ist, als beide zusammen. Dreht man aber die eine Platte in ihrer Ebene um sich selbst, ohne gleichzeitig die Lage der andern zu ändern, so wird das durchgelassene Licht immer schwächer und schwächer, bis es endlich ganz verschwindet, wenn die Axen beider Platten einen rechten Winkel mit einander bilden. Betrachtet man also durch eine Turmalinplatte irgend ein Licht oder irgend einen beleuchteten Gegenstand, so wird jede Veränderung in der Helligkeit, die beim Drehen der Platte um sich selbst erfolgt, sofort von der Anwesenheit polarisirten Lichtes überzeugen. Eine solche Turmalinplatte ist darum ein vortreffliches Mittel, um polarisirtes und natürliches Licht von einander zu unterscheiden. Richtet man z. B. eine Turmalinplatte gegen den heiteren Himmel, so zeigt sich beim Drehen derselben stets eine wechselnde Ab- und Zunahme der Helligkeit, und man erkennt daraus, daß das Licht des Himmelsgewölbes durch die unregelmäßige Reflexion, die es nach allen Seiten erleidet, polarisirt ist.

Fig. 111.



Ein ebenso vortreffliches Mittel, um nur einen einzigen polarisirten Strahl zu erhalten, und um also in derselben Weise, wie der Turmalin, zur Prüfung des Lichtes auf die Polarisation zu dienen, gewährt das Nicol'sche Prisma. Es ist eine sinnreiche Verbindung zweier halben Kalkspathrhomboëder, die mit ihren gleichen Flächen durch Canada-Balsam auf einander gekittet sind. Tritt ein Lichtstrahl s in dieses Prisma a b c d (Fig. 111) ein, so wird er in Folge der doppelten Brechung in zwei Lichtstrahlen gespalten, von denen der stärker gebrochene ordentliche (m n) die Balsamschicht (b d) unter einem so spitzen Winkel trifft, daß er an derselben eine totale Reflexion erleidet und von der geschwärzten Seiten-

fläche (a d) des Prismas absorbirt wird, während der schwächergebrochene außerordentliche Strahl (m p) durch die Balsamschicht hindurchgeht und in einer m p parallelen Richtung o S′ aus dem Prisma hervortritt. Was also bei dem Turmalin die Lichtabsorption, bewirkt hier die totale Reflexion.

Jedes neue Mittel, Polarisationserscheinungen hervorzurufen, muß auch von Bedeutung sein für die Erkenntniß der Ursachen und des Wesens der Polarisation überhaupt, schon dadurch, daß es die Möglichkeit gewährt, mannigfaltige Apparate zusammenzusetzen, mit deren Hülfe man auch die feinsten Spuren dieser Erscheinung zu verfolgen vermag. Es ist ja selbstverständlich, daß sich aus Doppelspathen, Spiegeln, Plattenschichten, Turmalinplatten, Nicol'schen Prismen, allen diesen als geeignet zur Polarisirung des Lichts kennen gelernten Mitteln, wenn man sie paarweise mit einander verbindet, Apparate herstellen lassen, durch welche man Lichtstrahlen auf ihre Polarisation prüfen, oder, wie die Wissenschaft es ausdrückt, analysiren kann.

Fig. 112.

Den einfachsten Apparat dieser Art stellt der unter dem Namen des Nörremberg'schen bekannte dar (Fig. 112). Er besteht aus einer um eine horizontale Axe drehbaren Glasplatte (D) und einem sowohl horizontal als vertical drehbaren schwarzen Glasspiegel (A). Die untere spiegelnde Glasplatte (D) wird gewöhnlich so festgestellt, daß ihre Ebene mit der Verticalen genau einen Winkel von $35^0\ 25'$, den bekannten Polarisationswinkel des Glases, bildet. Trifft nun ein Lichtstrahl (a) auf diese Glasplatte, so wird ein Theil desselben auf c zurückgeworfen und durch diese Reflexion polarisirt. In c befindet sich aber ein horizontal angebrachter Spiegel, der den polarisirten Lichtstrahl durch die Glasplatte (D) hindurch gegen den oberen Spiegel (A) zurückwirft. Ist nun auch dieser obere drehbare Spiegel unter dem Neigungswinkel von $35^0\ 25'$ gegen die Verticale eingestellt, so wird hier der polarisirte Lichtstrahl nur sichtbar, wenn die Reflexionsebene des Spiegels A und der Glasplatte D genau parallel mit

einander sind; er verschwindet aber, wenn man den oberen Spiegel so um seine verticale Axe dreht, daß seine Reflexionsebene rechtwinklig auf diejenige der Glasplatte D steht. Zwischen Spiegel und Glasplatte lassen sich auf den Ring C beliebige durchsichtige Gegenstände legen, deren Verhalten man im polarisirten Lichte beobachten will. Natürlich läßt sich dieser Apparat sehr mannigfach abändern, indem man den einen oder den anderen Theil, die polarisirende Glasplatte oder den analysirenden Glasspiegel, oder beide durch andere polarisirende Vorrichtungen ersetzt. Ganz besonders werden sich dazu Turmalinplatten und Nicol'sche Prismen eignen.

Die farbige Polarisation.

Wäre die Trennung doppelter Bilder oder die Unterscheidung von Hell und Dunkel durch das Auge das einzige Mittel, die Eigenschaft der doppelten Brechung oder der Lichtpolarisation an Körpern zu erkennen, so besäßen wir auch heute gewiß nur wenige Substanzen, denen wir diese wichtige Eigenschaft zuschreiben könnten. Mußte doch erst der isländische Doppelspath in bedeutender Größe und Durchsichtigkeit nach Europa gebracht werden, ehe man überhaupt die Erscheinung der Doppelbrechung entdecken konnte, die sich doch jetzt an jedem Kalkspathkrystalle beobachten läßt! Müßten wir auch heute noch aus jedem Krystall, von dem wir wissen wollen, ob er die Eigenschaft der Doppelbrechung besitzt, erst ein Prisma schneiden von hinreichender Größe und Durchsichtigkeit, daß wir durch seine künstlichen Begrenzungsflächen hindurch das doppelte Bild eines sehr dünnen Körpers, z. B. einer Nadelspitze wahrzunehmen vermöchten; so würde noch mancher Körper übrig bleiben, der zwar diese Eigenschaft besäße, bei dem wir aber nicht im Stande wären, mit unsern Augen die doppelten Bilder ihrer polarisirten Strahlen zu trennen.

Zum Glück ist der Gegensatz von Hell und Dunkel, von erscheinenden und verschwindenden Lichtstrahlen es nicht allein, welcher über die Anwesenheit von Polarisationserscheinungen entscheidet. Der Scharfsinn Arago's schuf im Jahre 1811 auf diesem Gebiete ein neues Hülfsmittel in den prachtvollen Farbenerscheinungen des polarisirten Lichts. Man möchte fast meinen, daß die Natur stets da, wo sie ihre tiefsten Geheimnisse entschleiert, auch zugleich die prachtvollsten Festgewänder anlege! Damals, als es die zarten Lichtwellen zu messen und zu zählen galt, bot sie uns die herrlichen Newton'schen Farben-

ringe. Jetzt, wo die Wissenschaft wieder einmal an den Grenzen menschlicher Erkenntniß angelangt scheint, wo sie vermessen danach verlangt, die Gestalt dieser Lichtwellen zu zeichnen, dem Pendelschlage der schwingenden Aethertheilchen zu lauschen, tritt uns abermals eine reiche, entzückende Farbenpracht entgegen, nicht von täuschendem Scheine, sondern in der Tiefe der Stoffe selbst geboren, uns ihr Innerstes, man möchte sagen, ihre gestaltende Seele enthüllend.

Das Mittel selbst, diese zauberhaften Erscheinungen hervorzurufen, ist sehr unscheinbar. Man hat nichts weiter zu thun, als nach gewissen Richtungen dünne Scheibchen aus Krystallen zu schneiden und sie mit Hülfe eines Polarisationsapparates im polarisirten Lichte zu betrachten. Die Natur selbst ist dabei bereits häufig entgegengekommen und hat den mühsamen Schnitt statt des Künstlers ausgeführt. So kommt der Gyps in der Natur in großen durchsichtigen Krystallen vor, die eine außerordentliche Spaltbarkeit besitzen, so daß man mit Leichtigkeit dünne Blättchen davon ablösen kann. Ein solches Gypsblättchen legt man nun auf den Ring C zwischen den Spiegel des Nörremberg'schen Polarisationsapparates oder betrachtet es zwischen zwei polarisirenden Turmalinplatten. Giebt man den Spiegeln oder den Turmalinplatten eine gekreuzte Stellung, so muß nach der obigen Darstellung ohne Dazwischenkunft des Gypsblättchens das Gesichtsfeld völlig dunkel bleiben. Wird aber das Gypsblättchen eingeschoben, so erblickt man sofort ein helles farbiges Bild auf dunklem Grunde, das seine Helligkeit und Färbung wechselt, sobald man das Blättchen in seiner Ebene um sich selbst dreht, und das endlich nach einer größeren Drehung sich vollkommen verdunkelt, so, als ob das Gypsblättchen überhaupt keine Wirkung auf die durchgehenden Strahlen ausgeübt hätte. Noch wunderbarer wird die Erscheinung, wenn man in dem Augenblicke, wo das Gypsblättchen seine prachtvollste Färbung zeigt, den Polarisationsspiegel oder die eine Turmalinplatte dreht. Das Bild wird dann blasser und blasser und endlich ganz weiß und farblos. Aber die Farben kehren bei fortgesetztem Drehen wieder und erreichen den früheren Glanz vollkommen, sobald die Spiegel des Apparates in die parallele Stellung gekommen sind. Nur sind es nicht mehr dieselben Farben, die sich zeigen, sondern ihre complementären: das Roth ist in Grün, das Gelb in Blau ꝛc. umgewandelt.

Wenn man in den Apparat oder zwischen die Turmalinplättchen statt des Gypsblättchens eine dünne Kalkspathplatte einlegt, die aus dem Krystall rechtwinklig auf seine Axe geschnitten ist, so erblickt man

herrliche, den Newton'sche ähnliche Ringsysteme. Bei gekreuzten Spiegeln oder Turmalinen erscheint ein von einem schwarzen Kreuze durchzogenes System prachtvoller Farbenringe (Fig. 113). Bei paralleler Stellung der Spiegel geht die Färbung dieser Ringe in die complementäre über, und in der Mitte zeigt sich ein weißes Kreuz (Fig. 114). Die Farbenfolge in diesen Ringen und der Farbenglanz

Fig. 113.

Fig. 114.

ist derselbe wie bei den Newton'schen. Eine Eisplatte von etwa 1 Zoll Dicke bietet ganz ähnliche Erscheinungen dar; nur sind die Durchmesser der Ringe, wegen der geringen doppelten Brechung des Eises, bedeutend größer. Ganz anders aber gestaltet sich die Erscheinung, wenn man ein Glimmerblättchen, oder noch besser ein Scheibchen, das man von einem Zuckerkrystall abgespalten hat, oder ein Plättchen, das man sich durch Querschnitte aus einem säulenförmigen Salpeterkrystall geschaffen hat, zwischen den Turmalinplatten betrachtet. Man erblickt dann statt des einen zwei Ringsysteme, welche sich um getrennte Mittelpunkte gruppiren. Aber nur die zunächst um diese Mittelpunkte liegenden Ringe schließen sich in sich selbst; in größerer Entfernung verlaufen die beiden Ringsysteme in eigenthümlich geformte, beide Mittelpunkte zugleich umschließende und in der Mitte zwischen beiden etwas eingeschnürte krumme Linien, die der Mathematiker Lemniscaten nennt. Durch die Mitte der Figur geht ähnlich wie bei den Kalkspathkrystallen ein schwarzes Kreuz. (Fig. 115). Dreht man die Salpeter- oder Zuckerplatte in ihrer Ebene um sich selbst, ohne daß man die Stellung der Turmalinplatten zu einander ändert, so verschieben sich die das Kreuz bildenden schwarzen Büschel und gehen endlich nach einer Dreh-

ung um einen Winkel von 45° in bogenförmige Büschel über, welche durch die beiden Mittelpunkte gehen (Fig. 116). Aendert man die

Fig. 115.

Fig. 116.

Stellung der Turmalinplatten gegen einander, so daß sie aus der gekreuzten Stellung in die parallele übergehen, so bleibt die Erscheinung zwar im Uebrigen dieselbe; aber statt der schwarzen Büschel sieht man weiße, und die Farben der Ringe sind in die complementären verwandelt.

Diese farbigen Erscheinungen der Krystalle im polarisirten Lichte müssen auf's Höchste überraschen. Es ist doch ein weißer, farbloser Lichtstrahl, der auf den Spiegel des Apparates fällt, aber sein Spiegelbild ist nicht mehr weiß, sondern roth, orange, gelb, grün, blau, violett, je nach der Stellung, welche der Spiegel zum Lichtstrahle annimmt. Jetzt scheint es nicht mehr auszureichen, daß man zwei oder selbst vier Pole in dem Lichtstrahle annimmt; es scheint deren Tausender zu bedürfen. Denn jeder Punkt seines Umkreises hat ja einen eigenthümlichen Charakter, in jeder Lage beleuchtet der Spiegel eine andere Farbe.

Aber noch eine neue Ueberraschung steht uns bevor. Bisher galt es für einen sicheren Beweis, daß wir es mit natürlichem Lichte zu thun hätten, wenn ein Lichtstrahl bei seinem Durchgange durch einen Kalkspathkrystall zwei weiße Bilder von gleicher Lichtstärke erzeugt, und wenn er von einem Spiegel in allen Lagen gleich gut reflectirt wird. Aber auch diese Sicherheit soll uns jetzt durch ein kleines Glimmer*blättchen geraubt* werden. Legt man nämlich ein Glimmerblättchen so

zwischen die gekreuzten Spiegel des Polarisationsapparates, daß es so hell als möglich erscheint, so kann man den oberen Spiegel drehen, wie man will, ohne daß die Helligkeit des Blättchens sich ändert oder eine irgend merkliche Färbung eintritt. Der Strahl, welcher von dem Glimmerblättchen kommt, wird von dem Spiegel gerade so gut und gleichmäßig reflectirt, wie jeder natürliche Strahl. Ebenso zeigt er auch zwei weiße Bilder von gleicher Helligkeit, wie der natürliche Lichtstrahl, wenn man ihn, statt in dem Spiegel des Apparates, durch einen doppeltbrechenden Krystall betrachtet. Nach allen Seiten entwickelt er die gleichen Eigenschaften, und doch enthält er kein natürliches Licht. Davon wird man auf das Ueberraschendste überzeugt, wenn man ein Gypsblättchen auf das Glimmerblättchen legt. So lange die Spiegel gekreuzt sind, zeigt auch dies keine Färbung. Legt man ein zweites Glimmerblättchen auf das Gypsblättchen, so erscheint sofort das Gypsblättchen in der prachtvollsten Färbung, die beim Drehen des obern Spiegels nicht verschwindet, nicht einmal erblaßt, sondern nur ein herrliches, ewig wechselndes Farbenspiel vom Rothen in's Gelbe, in's Grüne, Blaue u. s. w. darbietet.

Ganz dieselbe Erscheinung, wie diese Verbindung von Gyps- und Glimmerblättchen, bietet auch ein einfaches Quarzscheibchen dar, das senkrecht auf die Hauptaxe des Krystalls geschnitten ist, wenn man es im polarisirten Lichte betrachtet. Es zeigt im Doppelspath zwei complementär gefärbte Bilder, im Spiegel des Polarisationsapparates prachtvolle Farbenringe, die bei der Drehung des Spiegels nur die Farben wechseln, nicht verlieren. Aber eine neue Sonderbarkeit tritt hier entgegen, wenn man auf die Reihenfolge in diesem Farbenwechsel achtet. Am leichtesten läßt sich diese Beobachtung machen, wenn man die beiden farbigen Bilder betrachtet, welche der Doppelspath in diesem Quarzscheibchen hervorruft. Um dabei nur nöthig zu haben, seine Aufmerksamkeit auf eine einzige Farbe zu richten, benutzt man am besten ein einfarbiges Glas, z. B. ein rothes, durch welches alle andern Farben verdunkelt werden. Wenn sonst das rothe Bild bei einer gewissen Drehung des Doppelspaths in ein complementär gefärbtes, grünes Bild verwandelt wurde, so muß es jetzt natürlich ganz verschwinden. Ersetzt man nun in dem Augenblicke, wo dieses Bild verschwindet, das Quarzplättchen durch ein anderes, aus demselben Krystall geschnittenes, aber doppelt so dickes Quarzplättchen, so erscheint das rothe Bild wieder, und man muß den Doppelspath erst wieder um einen gleich großen Winkel, wie vorher, drehen, um das Bild wieder verschwinden

zu machen. Schneidet man vollends ein Quarzplättchen aus einem andern Krystall, und betrachtet dies durch den Doppelspath, so muß man jetzt vielleicht links drehen, wenn man vorher rechts drehte, um das Bild zum Verschwinden zu bringen.

Es ist hier nicht der Ort, den ganzen Reichthum dieser wunderbaren Erscheinungen zu erschöpfen, die man, weil sie auf Strahlen deuten, an denen sich nicht mehr wie sonst blos einzelne Seiten oder Pole unterscheiden lassen, die vielmehr jeden Punkt ringsum zum Pol werden lassen, mit dem Namen der Circularpolarisation bezeichnet hat. Erwähnt muß jedoch werden, daß auch Flüssigkeiten und Dämpfe diese Erscheinung zeigen, namentlich Zucker- und Gummilösungen, Terpentinöl und Terpentindampf. Auch hier giebt es rechts- oder linksdrehende Flüssigkeiten, d. h. solche, welche zum Verschwinden des außerordentlichen Strahles im Doppelspath eine Drehung nach rechts oder links verlangen. Zu den rechts drehenden Flüssigkeiten gehören Zucker, Dextrin und Citronenöl, zu den links drehenden arabischer Gummi und Terpentin. Die Größe der Drehung ist, wie beim Quarz von der Dicke der durchsichtigen Platte, so hier natürlich von der Dichtigkeit oder Concentration der Lösung abhängig. Die räthselhafte Erscheinung ist damit in das Gebiet des praktischen Lebens übergeführt; sie hat unter Anderem die Einrichtung sogenannter Saccharometer veranlaßt, die den Geschäftsmann in den Stand setzen, den Zuckergehalt einer Flüssigkeit zu bestimmen.

Die Theorie der doppelten Brechung und der Polarisation.

Alle diese bunten Erscheinungen sind Mittel von außerordentlicher Feinheit, um die Eigenschaft der Lichtpolarisation oder der doppelten Brechung in Körpern zu entdecken, die nur in dünnen Splittern den Einwirkungen des Lichts zugänglich gemacht werden können. Wenn zarte Glimmerblättchen die Farbenerscheinungen doppelt brechender Krystalle zeigen, so muß man, wenn man auch nicht im Stande ist, die doppelten Bilder selbst zu sehen, doch ihnen diese Eigenschaft zuschreiben. Kann man also irgend einem Körper künstlich die Eigenschaft verleihen, Farbenerscheinungen zu erzeugen, die auf eine doppelte Brechung schließen lassen, so wird man auch im Stande sein, rückwärts aus den angewandten Mitteln auf die Ursachen zu schließen, welche dieser und überhaupt jeder doppelten Brechung zu Grunde liegen.

Ein solches künstliches Mittel, die Eigenschaft der Doppelbrechung und Polarisation in gewissen Körpern zu erzeugen, giebt es nun in der That. Eine Glasplatte zeigt in gewöhnlichem Zustande keine Spur einer farbigen Polarisation. Wenn man aber diese Glasplatte glüht und schnell abkühlt, oder wenn man sie in eine Presse bringt und stark zusammendrückt, so treten im polarisirten Lichte sofort Farbenerscheinungen ein, die völlig jenen der doppeltbrechenden Krystalle gleichen. Es könnte freilich doch nicht ganz unbestritten scheinen, daß solche Phänomene nun auch wirklich immer von einer Doppelbrechung begleitet sein müssen, und man könnte fordern, daß die doppelten Lichtbündel in solchen gepreßten Gläsern auch wirklich nachgewiesen würden. Aber auch dieser Nachweis ist geglückt. Wenn man in eine Stahlkapsel einige Glasprismen neben einander legt und sie dann vermöge kräftiger Schrauben zusammenpreßt, so zeigt sich sehr deutlich die doppelte Brechung.

Es gilt nun, die Schlußfolgerungen aus diesem Versuche zu ziehen. Das Glas ist wirklich zu einem isländischen Krystall geworden; aber die Trennung der Bilder, das bunte Farbenspiel, Alles erfolgte hier einzig und allein durch die Wirkung der Druckschrauben. Die Wirkung aber, welche dieser Druck erzeugte, kann gar keine andere sein, als daß er die kleinsten Theilchen des Glases, vielleicht auch die Aethertheilchen in der Richtung, in welcher auf sie gewirkt wurde, einander näher brachte, während sie in der darauf senkrechten Richtung ihren früheren Abstand behielten. Es liegt nun gewiß nahe, anzunehmen, daß eine ähnliche, von der Natur im Krystallisationsproceß bewirkte Lagerung der Theilchen ganz allgemein die Ursache der Doppelbrechung und damit auch der verschiedenen Polarisationserscheinungen der Krystalle sei. Eine solche Annahme wird um so wahrscheinlicher, als unter der Menge von nicht krystallisirten Stoffen gerade diejenigen solche Polarisationserscheinungen zeigen, bei welchen eine ähnliche Theilchenlagerung, eine von außen nach innen regelmäßig zu- oder abnehmende Dichtigkeit bekannt ist, z. B. die Linse des Auges und die Stärkekügelchen.

Daß solche Dichtigkeitsunterschiede in der That bei den Krystallen stattfinden, dafür spricht die verschiedene Spaltbarkeit, welche sie nach verschiedenen, von der Axe abhängigen Richtungen zeigen. Dem Mineralogen ist es dadurch möglich geworden, selbst bei Mineralien, die sich ihm nie in Krystallform darbieten, eine sogenannte innere Kerngestalt aufzufinden. Daß diese verschiedene Dichtigkeit aber, wo

die dazu in Beziehung stehende Axenrichtung der Krystalle auch mit den Polarisationserscheinungen im Zusammenhange stehen muß, geht schon daraus hervor, daß die Plättchen zum Zwecke der Polarisationsversuche stets nach gewissen Richtungen, senkrecht oder parallel gegen die Krystallaxen, geschnitten werden mußten. Es läßt sich also wohl auch annehmen, daß auch die Dichtigkeit oder Elasticität des Aethers, jenes unbekannten hypothetischen Trägers der Lichtwellen, bei diesen Dichtigkeitsunterschieden betheiligt ist. Völlig berechtigt wird diese Annahme freilich erst, wenn es gelingt, mit ihrer Hülfe die erwähnten wunderbaren Erscheinungen zu erklären.

Eine wellenförmige oder schwingende Bewegung soll es nach der heute allgemein angenommenen Theorie sein, welche die Erscheinung des Lichts hervorruft. Ein Lichtwelle muß es also auch sein, welche in den Doppelspathkrystall eintritt. Hier erleidet sie wie in jedem andern Körper eine Brechung, d. h. eine Veränderung ihrer Fortpflanzungsgeschwindigkeit. Was kann nun diese doppelte Brechung, diese doppelte Veränderung der Geschwindigkeit bedeuten? Gäbe es keine andere Bewegung in dem Lichtstrahle, als in der Richtung seiner Fortpflanzung, so würde jede Erklärung einer solchen Verdoppelung eine Unmöglichkeit sein, und auch die Verschiedenheiten der Dichtigkeit und Elasticität des Aethers nach den verschiedenen Richtungen des Krystalls hätten keine Bedeutung. Eine Spaltung des Lichtstrahls in zwei wäre dann geradezu etwas ebenso Undenkbares, als wenn man verlangen wollte, daß ein einfacher gerader Stoß zwei Kugeln nach verschiedenen Richtungen treiben sollte. Man kann also durchaus nicht dabei stehen bleiben, in einer Lichtwelle nur Schwingungen anzunehmen, welche in der Richtung ihrer Fortpflanzung geschehen, also Längsschwingungen, wie es die Schwingungen des Schalles sind, sondern man muß sich die Lichtschwingungen jetzt vielmehr als Querschwingungen vorstellen, als solche, die in einer senkrecht auf die Richtung der Fortpflanzung stehenden Ebene geschehen, ähnlich etwa wie in einer schwingenden Saite. Man muß für den natürlichen Lichtstrahl sogar annehmen, daß solche Querschwingungen stets gleichzeitig nach allen Richtungen vorhanden sind.

Es kann nicht schwer fallen, den Weg ausfindig zu machen, welchen nach dieser Anschauung der Lichtstrahl durch eine Kalkspathplatte nehmen muß, deren Flächen senkrecht auf die Hauptaxe des Krystalls geschnitten sind. In den Querschwingungen des Lichtstrahls haben wir jetzt eine Menge von Bewegungen, deren Fortpflanzungs-

geschwindigkeiten natürlich von der Elasticität des Aethers abhängen werden, welchen sie vorfinden. Ist die Elasticität des Aethers nach verschiedenen Richtungen des Krystalls wirklich eine verschiedene, so werden sich auch die Querschwingungen des Lichtstrahls mit ebenso verschiedenen Geschwindigkeiten nach diesen Richtungen verbreiten, oder mit andern Worten, der Lichtstrahl wird nach diesen Richtungen verschieden gebrochen werden. Die Dichtigkeit des Aethers ist nun offenbar, wie der Zusammenhang der Stofftheilchen, eine gleichmäßige in der Richtung der Hauptaxe, aber eine wesentlich davon verschiedene, wenn auch wiederum für sich gleichmäßige für alle auf diese Axe senkrechten Richtungen. Tritt daher eine Lichtwelle in der Richtung der Axe in eine solche Kalkspathplatte ein, so werden alle ihre Schwingungen senkrecht zur Axe erfolgen, sich darum gleichmäßig verbreiten, und der Strahl muß ungespalten hervortreten. Tritt dagegen der Lichtstrahl schief gegen die Fläche der Kalkspathplatte und also auch gegen die Axenrichtung des Krystalls ein, so hat der eine Theil der Schwingungen zwar auch jetzt noch eine senkrechte Richtung gegen die Hauptaxe und pflanzt sich darum mit unveränderter Geschwindigkeit fort; ein anderer Theil aber nimmt jetzt eine schiefe Richtung gegen die Axe und trifft darum auf einen Aether, der eine geringere Dichtigkeit, eine größere Elasticität besitzt, und pflanzt sich deshalb mit einer größeren Geschwindigkeit durch den Krystall fort. Verschiedene Geschwindigkeit ist hier aber gleichbedeutend mit verschiedener Brechung. Die Folge ist also eine Theilung des Lichtstrahls, eine doppelte Brechung.

Betrachten wir nun die beiden austretenden Strahlen, so sind offenbar die Schwingungen, die in dem natürlichen Lichtstrahle noch als allseitige gelten mußten, in ihnen einseitige geworden. Der eine, ordentlich gebrochene Strahl besitzt nur noch Schwingungen, die senkrecht auf die Axe des Krystalls gerichtet sind; der andere, außerordentlich gebrochene Strahl besitzt nur noch Schwingungen parallel dieser Axe. Beide sind *rechtwinklig gegen einander polarisirt* heißt also jetzt: *Die Schwingungsrichtungen ihrer Aethertheilchen sind rechtwinklige gegeneinander.* Das ist es nun, was wir jetzt unter den Seiten oder Polen eines Lichtstrahls zu verstehen haben, und worauf sich der Name der Polarisation gründet.

Die Erklärung der verschiedenen Polarisationserscheinungen ist jetzt wesentlich nichts Anderes, als eine Uebersetzung derselben in die Sprache der Schwingungen. Wie Reflexion und Brechung Polarisa-

tion bewirken konnten, ist nun leicht einzusehen. Denn es ist ja selbstverständlich, daß in dieser Weise verschiedene Schwingungen des Lichtes nicht gleichmäßig zurückgeworfen werden können, daß eine vollkommene Zurückwerfung sogar nur für diejenigen Schwingungen möglich ist, welche parallel mit der Spiegelungsebene geschehen, während alle andern mehr oder minder schief gegen die Spiegelfläche gerichteten wenigstens zum Theil in dieser Schwingungen erzeugen und, da keine Wirkung in der Natur denkbar ist ohne Verlust an Kraft, selbst vernichtet werden müssen. Eine vollkommene Polarisation tritt darum nur ein, wenn diese in der Spiegelsubstanz erzeugte Schwingungswelle, mit andern Worten der gebrochene Strahl, genau einen rechten Winkel mit dem zurückgeworfenen Strahle bildet. So erklärt sich auch der Polarisationswinkel und seine Abhängigkeit von der polarisirenden Substanz. So erklärt sich aber auch, daß reflectirte und gebrochene Strahlen stets senkrecht auf einander polarisirt sind, da sie gleichsam beide die auf einander senkrechten Schwingungen unter sich getheilt haben. So erklärt sich aber ferner, warum ein polarisirter Strahl immer nur in einer gewissen Stellung von einem Spiegel zurückgeworfen wird, weil er ja stets nur einseitige Schwingungen enthält.

Die Annahme, worauf alle diese Erklärungen beruhen, wird zur unumstößlichen Gewißheit erhoben, wenn man einen Blick auf die Farbenerscheinungen des polarisirten Lichtes wirft. Diese Farbenerscheinungen sind offenbar, wie jene so überaus ähnlichen Newton'schen Farbenringe dünner Platten, Erzeugnisse von Interferenzen. Das Wesen der Interferenz besteht nun darin, daß Lichtwellen in verschiedenen Phasen der Bewegung auf einander treffen und, einander schwächend oder verstärkend, sich zu einer gemeinsamen Bewegung vereinigen. Natürlich ist, was man wohl ein Zusammentreffen von Wellenberg mit Wellenberg oder Wellenthal nennt, in Wirklichkeit nur ein Zusammentreffen gleich oder entgegengesetzt gerichteter Schwingungen. Bei den Newton'schen Ringen wird eine solche Begegnung von Wellen durch den Umstand herbeigeführt, daß Lichtstrahlen zugleich von der oberen und der unteren Fläche einer dünnen Schicht zurückgeworfen werden, und es ist darum die Dicke der Schicht, welche darüber entscheidet, welche Strahlen einander vernichten, und welche einander verstärken sollen. Dieser Verdoppelung der Strahlen durch Reflexion bei dünnen Schichten entspricht nun bei den Fabenerscheinungen im polarisirten Lichte die Verdoppelung der Strahlen durch doppelte Brechung. Jeder *Lichtstrahl*, der eine Krystallplatte in einer andern Richtung als der

Richtung der optischen Axe durchläuft, wird in zwei Strahlen gespalten, und diese beiden polarisirten Strahlen befinden sich wegen der verschiedenen Elasticität des durchlaufenen Aethers in verschiedenen Schwingungsphasen. Außerdem können aber auch Phasenunterschiede zwischen allen den zahllosen durch die polarisirende Platte gegangenen Strahlen eintreten, die wieder nur abhängig sind von der Dicke der Krystallplatte.

Polarisirte Strahlen interferiren einander aber nicht unter allen Umständen, und darauf beruht der wichtige Unterschied zwischen polarisirtem Lichte und natürlichem, der das sicherste Prüfungsmittel dafür abgiebt. Bewegungen können nämlich nur dann eine Einwirkung auf einander ausüben, wenn sie irgend eine Gemeinsamkeit der Richtungen besitzen. In gleichem Sinne polarisirte Lichtstrahlen, d. h. solche, in denen die Aethertheilchen parallel schwingen, müssen daher mit einander so interferiren, wie natürliche Strahlen, müssen also in Folge der Beugung an schmalen Körpern oder engen Oeffnungen dieselben bekannten Farbenerscheinungen liefern. Zwei senkrecht auf einander polarisirte Strahlen dagegen können niemals Interferenzerscheinungen zeigen, weil ihre Schwingungen einander weder hemmen noch verstärken können. Die prachtvollen Farbenspectra, die sich aus der Interferenz der durch zwei schmale Spaltöffnungen gebeugten Lichtstrahlen erzeugen, werden in der That augenblicklich vernichtet, wenn man zwei Turmalinplatten vor diese Oeffnungen hält, deren Polarisationsebenen einander kreuzen. Gewiß ist es geeignet, Staunen zu erregen, wenn man zum ersten Male erfährt, daß zwei Lichtstrahlen durch ihre Vereinigung Dunkel erzeugen sollen; aber nachdem man die Nothwendigkeit dieses Wunders erkannt hat, muß es doppelt staunenswerth erscheinen, daß diese Eigenschaft den Lichtstrahlen auch wieder entzogen werden kann. Das einzig denkbare Mittel, diese Erscheinung zu erklären, ist aber die Annahme von Querschwingungen im Lichtstrahle. Aus ihnen erklärt sich das Verschwinden der Farbenbilder und das Erscheinen complementär gefärbter Bilder beim Drehen der Polarisationsspiegel. Aus ihnen erklären und berechnen sich selbst die schönen Ringe polarisirten Lichtes in Krystallen. Solche Farbenringe sahen wir oben im analysirenden Spiegel des Polarisationsapparates sich stets dann zeigen, wenn ein polarisirter Lichtstrahl zuvor eine doppeltbrechende Krystallplatte durchlaufen hatte. In diesem Falle mußten zwei rechtwinkelig polarisirte Strahlen aus dem Krystall hervortreten, und jeder derselben wurde dann im Spiegel auf's Neue zerlegt in einen parallel und in einen senkrecht zur Spie-

gelungsebene schwingenden Strahl. Jeder dieser zerlegten Strahlen findet also in der Zerlegung des andern einen Strahl, dessen Schwingungen den seinigen parallel sind, mit dem er also interferiren kann. Beide interferirende Strahlen gehen endlich aus Strahlen hervor, die beim Durchgange durch den Krystall in verschiedenen Richtungen auf Aetherschichten von verschiedener Elasticität gestoßen und dadurch in verschiedene Schwingungsphasen eingetreten sind. Die Dicke der Platte bestimmt natürlich diese Phasenunterschiede und entscheidet damit auch über die Farben, welche hervortreten müssen, da diejenigen Farben nothwendig verschwinden, deren Schwingungsphasen um eine ungerade Anzahl von halben Wellenbreiten verschieden sind.

Dieser einfache Satz, daß nur parallel, niemals senkrecht polarisirte Lichtstrahlen mit einander interferiren können, kann als der Schlußstein der heutigen Wellentheorie des Lichtes gelten, um so mehr, als er sich in neuerer Zeit auch auf dem verwandten Gebiete der Wärmewellen in überraschender Weise bestätigt hat. Er liefert den Schlüssel zu allen jenen zauberhaften Farbenerscheinungen, zu deren Erklärung man bereits unter dem Einflusse einer übermächtigen Phantasie manchen wissenschaftlichen Roman aufgebaut hatte. Er liefert auch den Schlüssel zu jener merkwürdigen Erscheinung, welche das polarisirte Licht in einer Quarzplatte darbot, jener Erscheinung eines Lichtstrahls nämlich, der, in allen Eigenschaften dem natürlichen gleich, wie dieser, unter allen Umständen gebrochen und reflectirt wurde, aber stets farbig und in buntwechselndem Farbenspiele.

Gerade diese bunten Erscheinungen sind es, die in überraschender Weise die Ueberzeugung aufdrängen, daß die allgemeinen Gesetze der Bewegung bis auf den letzten Paragraphen auch auf dem Gebiete des Lichtes ihre Geltung behaupten. Wenn es nämlich auch feststeht, daß zwei rechtwinkelig polarisirte Lichtstrahlen nicht mit einander interferiren können, so können sie doch nichtsdestoweniger in gewissen Fällen eine Einwirkung auf einander ausüben. Diese Einwirkung tritt ein, wenn die Aethertheilchen in beiden Strahlen gleichzeitig die Ruhelage passiren. Die Aethertheilchen schlagen dann beim Zusammentreffen entweder eine mittlere Richtung ein, ganz ähnlich wie beim Stoße nach der Lehre vom Kräfteparallelogramm, oder sie erhalten eine drehende Bewegung und verfolgen eine Kreisbahn in einer senkrecht auf beiden Strahlen stehenden Ebene, je nachdem die Unterschiede ihrer Schwingungsphasen im Zusammentreffen halbe oder Viertelwellen betragen. *Auf der letzteren* Wirkung beruht dann die Circularpolarisation, deren

Wirkung nach rechts oder links wieder davon abhängig ist, ob der Wegunterschied der beiden Strahlen $^1/_4$ oder $^3/_4$ Wellen beträgt. Zwei solche entgegengesetzt nach rechts und links in Kreisen schwingende Strahlen waren es, welche im Bergkrystall durch ihre Interferenzen jene wunderbare Farbenpracht zauberten.

Tiefer in dieses Gebiet der Interferenzen einzudringen, auf dem zuletzt doch der rechnenden Zahl die letzte Entscheidung verbleibt, und dessen Bedeutung zumal immer mehr eine theoretische als praktische ist, würde dem Charakter eines Buches widersprechen, das vorzugsweise für Laien bestimmt ist und dem alltäglichen Leben seine Aufmerksamkeit zuwenden soll. Der Zweck der ganzen letzten Betrachtung war auch weniger die Erklärung aller jener bunten Erscheinungen, als der Nachweis der eigentlichen Wellenform des Lichts. Dieser Zweck aber ist erreicht. Das Meer der Lichtwellen liegt nun vor uns ausgebreitet gleich der wogenden Wasserfläche. Es ist nicht mehr die Ahnung unbestimmter Bewegungen, es ist die bewußte Anschauung von Formen, die uns daraus entgegentritt. Wir sehen Wellen, die der schwingenden Saite gleichen, und wieder schraubenförmig sich windende Wellen. Wir sehen Schwingungen aller Größen mit einander sich mischen und wieder von einander sondern. Wir sehen dieses Meer weithin verbreitet auch das Innerste der Körperwelt durchdringen. Seine Wellen erschließen uns das Innere dieser starren Welt, lehren uns den geheimnißvollen Bau der Körper kennen, lehren uns aus Trümmern die ursprüngliche Gestalt wiederfinden, wie etwa der Zoolog aus einem Zahne das Thier, dem derselbe angehörte, wieder aufbaut. Die neuere Physiologie hat sogar gezeigt, daß es Erscheinungen giebt, welche dem Auge Eigenschaften seiner eigenen brechenden Substanzen sichtbar machen; sie hat gezeigt, daß das Auge nicht blos ein lichtbrechender, sondern auch ein lichtpolarisirender Apparat ist, und daß weißes polarisirtes Licht auf der Netzhaut ebenso Farbenbilder zeichnet, wie in einer geschliffenen Turmalinplatte.

Die Polarisation der Wärmewellen.

Bei den nahen Beziehungen, die zwischen strahlender Wärme und Licht bestehen, durch die wir ja bereits gedrängt wurden, beide als Erscheinungen der gleichen Wellenbewegung aufzufassen, nur verschieden durch die Geschwindigkeit und die Energie der Schwingungen, mußte für den Forscher die Frage entstehen, ob sich nicht auch die Erscheinungen der

Polarisation für diese strahlende Wärme nachweisen lassen sollten. In der That ist es Melloni gelungen, durch einen einfachen Versuch diesen Nachweis zu führen.

An jedem Ende einer metallenen Röhre hatte er einen drehbaren Ring angebracht, welcher eine Säule von 8 bis 10 ganz dünnen Glimmerblättchen trug, die so auf einander gelegt waren, daß die Ebene der optischen Axen für alle Blättchen dieselbe Lage hatte. Vor dieser Röhre befand sich eine Steinsalzlinse, in deren Brennpunkte eine Wärmequelle aufgestellt war, so daß ein Bündel paralleler Wärmestrahlen auf die erste Glimmersäule fiel. Auf der andern Seite der Röhre stand ein empfindliches Thermoskop. Je nachdem die Ringe mit den Glimmersäulen um die Axe der Röhre gedreht wurden, konnte man die Glimmersäulen nach Belieben so stellen, daß ihre Polarisationssäulen entweder parallel waren oder sich rechtwinkelig kreuzten. Es stellte sich nun heraus, daß die Wärmemengen, welche durch die beiden Glimmersäulen hindurchgehen, sehr verschieden sind, je nachdem die Polarisationsebenen der beiden Glimmersäulen parallel oder gekreuzt sind, daß die Glimmersäulen im letzteren Falle stets weniger Wärmestrahlen durchlassen, als im ersteren, und zwar um so weniger, je mehr sich die Ebene der Glimmerblättchen der Richtung der durchgehenden Wärmestrahlen nähert. Die Glimmersäulen polarisiren also die Wärmestrahlen durch Brechung um so vollständiger, je schiefer sie hindurchgehen.

Auch für Turmaliuplatten ist die Polarisation der Wärmestrahlen nachgewiesen worden. Namentlich aber hat sich gezeigt, daß ein zwischen die beiden Glimmersäulen gebrachtes Glimmerblättchen für die Wärmestrahlen eine ganz ähnliche Erscheinung hervorbringt, wie die doppeltbrechende Krystallplatte, welche, zwischen die gekreuzten Spiegel des Polarisationsapparates gebracht, das Gesichtsfeld wieder hell macht; — ein deutlicher Beweis, daß die strahlende Wärme auch der doppelten Brechung fähig ist.

Die Erwähnung dieser Thatsachen, die im Uebrigen nur für den theoretischen Forscher ein Interesse haben, war nothwendig, um den Nachweis zu führen, daß Licht und strahlende Wärme demselben Weltallgebiete angehören, daß sie Schwingungen desselben Aethermeeres sind.

Licht und Wärme sind also Wellen des Aethermeeres, und was auch jenes unbekannte Meer sein mag, es mischt sich mit den Wellen jenes Lebenselementes, auf dessen Boden die Pflanze wurzelt, in dessen Tiefe Thier und Mensch athmen. Es sind Wellen zugleich jenes rast-

los kreisenden Stromes, der im Auf- und Niederwogen zahllose Wesen an seine Ufer wirft, um sie rückkehrend wieder in sich zu verschlingen. Wohl mögen erhabener die Wellen des Wassers, lieblicher die Wellen des Schalles dahinfließen; wohl mag mit Schauern die wogende Wasserfluth das Herz durchbeben, wohl mögen entzückend die süßen Töne der Musik durch die Saiten der Seele rauschen; aber Licht und Wärme sind die zarten geisterhaften Wellen, die allein Leben wecken und Geist entzünden in dem rohen Stoffe.

Dritter Abschnitt.

Die magnetischen und electrischen Erscheinungen.

Wenn wir noch einmal den Blick zurückwerfen auf das reiche Gebiet der Erscheinungen, welche Schall, Wärme und Licht darboten, so war es recht eigentlich die Bewegung, auf welche uns ihre Betrachtung immer wieder zurückführte. Die Entstehung des Schalles ließ sich auf dem unmittelbaren Wege der Beobachtung durch die schwingende Bewegung der tönenden Körper nachweisen. Für das Licht war zwar ein ähnlicher Nachweis auf dem Wege der Erfahrung nicht möglich; aber die nahen Beziehungen zwischen den Erscheinungen des Schalles und des Lichtes ließen auch für dieses eine ähnliche Art der Entstehung mindestens als wahrscheinlich erscheinen; ja, die Thatsache, daß die Schwingungstheorie alle bekannten Erscheinungen des Lichtes in der einfachsten und vollständigsten Weise erklärt, gestattet kaum noch einen Zweifel an der Richtigkeit dieser Theorie. Zwischen den Erscheinungen der Wärme und des Lichtes hat sich aber wieder eine so innige Verwandtschaft ergeben, daß sich auch hier die Vermuthung einer verwandten Entstehung aufdrängt, und wenn es auch noch nicht gelungen sein sollte, alle Erscheinungen der Wärme aus der Schwingungstheorie abzuleiten, so dürften doch die neuesten Fortschritte auf diesem Gebiete der Forschung auch die Erreichung dieses Zieles in nahe Aussicht stellen.

Ganz anders steht es mit den Erscheinungen, die, gleichfalls auf's Innigste unter einander verbunden, unter dem Namen der magnetischen und electrischen zusammengefaßt werden. Hier fehlt es an einer erklärenden Hypothese noch gänzlich, und wenn auch zahlreiche Thatsachen einen Zusammenhang derselben mit den Erscheinungen des Lichtes und der Wärme unzweifelhaft machen und zu der Vermuthung

eines ähnlichen Ursprunges berechtigen, so fehlt es doch nicht an andern Thatsachen, welche auf eine besondere und abweichende Entstehungsweise hindeuten. Jedenfalls ist aber auch für diese Erscheinungen bereits die Zeit vorüber, wo von einer besonderen magnetischen oder elektrischen Materie geredet werden kann, wenn man auch noch nicht im Stande ist, diese Hypothese, wie die abgethane eines Licht- und Wärmestoffes, durch eine angemessenere zu ersetzen.

Noch ist ja kaum mehr als ein Jahrhundert verflossen, seit die Wissenschaft überhaupt angefangen hat, sich ernstlich mit den Erscheinungen des Magnetismus und der Elektricität zu beschäftigen. In dieser kurzen Zeit ist gerade auf diesem Gebiete eine Fülle ganz ungeahnter Erscheinungen aufgedeckt worden, haben sich in rascher Folge Entdeckungen an einander gereiht, die nicht blos zu den weitgreifendsten praktischen Erfolgen führten, sondern auch alte bekannte Thatsachen oft in ganz neuem und unerwartetem Lichte erscheinen ließen, und diese Reihe der Entdeckungen ist gewiß noch lange nicht abgeschlossen. Eine gesunde Naturforschung bedarf aber vor Allem einer, wenn auch nicht vollständigen, doch einigermaßen umfassenden Kenntniß der Erscheinungen und ihrer Gesetze, ehe sie es wagen darf, die Zusammenfassung aller unter ein gemeinsames Princip zu versuchen. So wird also noch manche Zeit mit der Sammlung von Thatsachen vergehen müssen, ehe es möglich sein wird, eine ähnliche Theorie für die elektrischen und magnetischen Erscheinungen aufzustellen, wie es mit so glänzenden Erfolgen für die Licht- und Wärmeerscheinungen geschehen ist.

Die Lehre vom Magnetismus und von der Elektricität muß sich daher für jetzt noch darauf beschränken, die Erscheinungen dieses Gebietes vorzuführen und, so weit es möglich, ihren gesetzlichen Zusammenhang nachzuweisen.

Erstes Kapitel.

Der Magnetismus.

Magnetische Anziehung und Abstoßung.

Schon die Alten kannten ein Erz, das sich durch die Eigenschaft auszeichnete, Eisen anzuziehen. Es ist ein schwarzes, aus Eisenoxyd

und Eisenoxydul bestehendes Erz, das die Mineralogen als Magneteisen bezeichnen, und das sich noch heute in großer Verbreitung besonders in den Urgebirgen der Erde vorfindet. Die Gruben von Arendal in Norwegen und von Dannemora in Schweden danken ihm ihre Berühmtheit, und die mächtigen Eisensteinberge bei Tornea und Gellivara in Lappland, bei Nischnei-Tagilsk am Ural, im Zillerthale in Tyrol, in Steiermark, in Piemont, in Brasilien, Chile u. s. w. haben vielfach zu den seltsamsten Mythen Veranlassung gegeben. Schon Plinius erzählt, daß die Entdeckung des Magnetes durch einen Hirten Namens Magnes oder, wie Andere wollen, aus der Stadt Magnesia dadurch geschehen sei, daß auf dem Berge Ida in Kleinasien die Eisenspitze seines Stockes und die Nägel seiner Schuhsohlen plötzlich am Boden festgehalten wurden. Später fabelte man von einer noch wunderbareren Anziehungskraft nordischer Magnetberge, und die Seefahrer hielten es für außerordentlich gefährlich, sich solchen Bergen zu nähern, da ihnen alle Nägel und Klammern, kurz alles Eisen der Schiffe zuflöge, und sie entweder dort festgehalten oder völlig aufgelöst würden.

Man bezeichnet mit dem Namen des Magnetismus noch gegenwärtig im Allgemeinen die Eigenschaft, Eisen anzuziehen. Es sind indeß bereits eine Menge von anderen Körpern, wie namentlich Nickel, Kobalt, Mangan, Chrom, aufgefunden worden, welche gleichfalls, wenn auch in geringerem Grade, als das Eisen, vom Magnete angezogen werden, und man wird sogar in gewissem Grade diese Eigenschaft allen Körpern zuschreiben müssen.

Als eine zweite wichtige Eigenschaft des Magneten bezeichnet man die, eine bestimmte Lage in annähernd nordsüdlicher Richtung anzunehmen, sobald er sich frei und ungehindert bewegen kann.

Die anziehende Kraft des Magneten äußert sich nicht an allen Stellen desselben in gleicher Stärke. Man kann sich davon leicht überzeugen, wenn man Eisenfeile in die Nähe eines Magneten bringt. Es zeichnen sich dann besonders zwei Stellen an den Enden des Magneten aus, um welche sich die Eisentheilchen anhäufen und zuweilen so ordnen, daß sie gleichsam Ketten von einem Ende zum andern bilden. Diese beiden Stellen, an welchen sich die anziehende Kraft am stärksten äußert, nennt man die Pole desselben, und zwar den bei freier Beweglichkeit gegen Norden gerichteten den Nordpol, den entgegengesetzten den Südpol. Die beide Pole verbindende Linie heißt die Axe des Magnetes, und derjenige Punkt, in welchem überhaupt gar keine Anziehung stattfindet, der Indifferenzpunkt.

Der Magnet äußert seine anziehende Kraft gegen das Eisen nicht blos bei unmittelbarer Berührung, sondern auch durch andere Körper hindurch, und zwar nicht blos durch die Luft, sondern auch durch Holz, Glas, Papier ꝛc. Natürlich nimmt die magnetische Kraft mit der Entfernung ab, und zwar nach dem allgemeinen Gesetze der Anziehung im umgekehrten quadratischen Verhältniß der Entfernung, also in der doppelten Entfernung um das Vierfache, in der dreifachen Entfernung um das Neunfache ꝛc.

Nicht blos auf unmagnetisches Eisen erstreckt sich die Wirkung des Magneten, sondern auch zwei Magnete üben auf einander eine Wirkung aus. Diese Wirkung ist aber nicht blos eine Anziehung, sondern auch eine Abstoßung. Nähert man zwei Magnete einander, so findet man, daß zwar der Nordpol des einen und der Südpol des anderen einander gegenseitig anziehen, daß aber die beiderseitigen Nordpole oder die beiderseitigen Südpole einander abstoßen. Die gleichnamigen Pole stoßen also einander ab, die ungleichnamigen ziehen einander an. In diesem einfachen Gesetze ist zugleich ein Mittel gegeben, zu untersuchen, ob irgend ein Körper, etwa ein Stück Eisen, bereits Magnetismus besitzt, und welcher Art derselbe ist. Nähert man einen Eisenstab einem frei schwebenden Magneten, einer sogenannten Magnetnadel, und findet man, daß derselbe auf den einen, wie auf den andern Pol anziehend wirkt, so darf man annehmen, daß in dem Eisenstabe gar kein oder doch nur ein unmerklich schwacher Magnetismus vorhanden ist. Findet man dagegen, daß das eine Ende den Nordpol, das andere den Südpol der Magnetnadel schon in einiger Entfernung abstößt, so kann man mit großem Rechte schließen, daß das erstere Ende des Stabes selbst Nord-, das letztere Südmagnetismus besitzt.

Magnetische Vertheilung.

Die Einwirkung eines Magneten auf in der Nähe befindliches Eisen wird zwar nicht gestört, wenn Luft, Wasser, Holz, Glas oder andere Körper dazwischen treten; sie kann aber völlig vernichtet werden, wenn man ein Eisenblech oder überhaupt einen Körper, der selbst vom Magneten angezogen wird, zwischen den Magneten und das angezogene Eisen bringt. Es ist bekannt, daß sich an eine Nähnadel, die man an den Pol eines kräftigen Magneten hängt, leicht noch eine zweite, dritte ꝛc. anhängt. Untersucht man die Nähnadel, nachdem man sie

vom Magneten entfernt hat, so findet man, daß sie selbst magnetisch geworden ist, und zwar an dem Ende, mit welchem sie am Nordpole des Magneten hing, südmagnetisch, am entgegengesetzten Ende nordmagnetisch. Jedes Stück Eisen also wird, wenn man es in die Nähe eines Magneten bringt, selbst zum Magneten und erhält am genäherten Ende den ungleichnamigen, am abgekehrten Ende den gleichnamigen Magnetismus. Alle magnetische Anziehung kann überhaupt nur zwischen den ungleichnamigen Polen zweier Magnete stattfinden, und ein unmagnetisches Eisen wird nur dadurch von einem Magneten angezogen, daß dieser in ihm selbst zuvor den Magnetismus hervorruft.

Bei diesem Magnetismus, welcher durch Annäherung an einen Magnetpol im Eisen erzeugt wird, kann man durchaus nicht an eine ähnliche Mittheilung magnetischer Kraft denken, wie etwa bei der Erwärmung eines Körpers durch Mittheilung der Wärme. Denn einmal verliert der Magnet keineswegs an Kraft, wie oft man auch den Versuch wiederholt, und sodann erhält das Eisen nicht blos den gleichnamigen Magnetismus, sondern beide Magnetismen zugleich und sogar den entgegengesetzten an der Stelle, wo es den Magnetpol berührt. Beide Magnetismen müssen also bereits ursprünglich in dem Eisen vorhanden gewesen sein, und man kann nur annehmen, daß sie sich bisher im Gleichgewichte befanden, daß aber bei der Annäherung an den Pol eines Magneten das Gleichgewicht aufgehoben wird, und in der genäherten Hälfte der angezogene ungleichnamige Magnetismus, in der abgekehrten Hälfte der abgestoßene gleichnamige Magnetismus das Uebergewicht erlangt. Diese Erweckung oder Trennung der magnetischen Gegensätze nennt man die magnetische Vertheilung. Das Eisen ist unmagnetisch, so lange die beiden Gegensätze, Nord- und Südmagnetismus, sich an jeder Stelle das Gleichgewicht halten. Das Eisen wird magnetisch, wenn der Nordmagnetismus in der einen, der Südmagnetismus in der anderen Hälfte das Uebergewicht gewinnt. Dies geschieht stets durch die Annäherung an den Pol eines Magneten, welcher den einen Magnetismus anzieht, den andern abstößt.

Auf dieser magnetischen Vertheilung beruht es auch, daß man niemals einen Magneten erzeugen kann, welcher nur den einen Magnetismus, etwa nur den Nordmagnetismus besäße. Bricht man einen Magneten durch, so stellt sofort jede der beiden Hälften einen vollständigen Magneten mit zwei Polen dar, indem die ursprünglich getrennten Enden ihre Pole behalten, die vorher vereinigten aber die entgegengesetzten Pole bekommen.

Ebenso erklärt sich aus dem Gesetze der magnetischen Vertheilung, daß zwei Magnete, die mit ihren ungleichnamigen Polen an einander gelegt werden, in ihren Wirkungen einander schwächen oder gänzlich aufheben, da der eine Magnet geradezu abstößt, was der andere anzieht. Dagegen müssen zwei Magnete, die mit den gleichnamigen Polen an einander gelegt werden, eine verstärkte Wirkung zeigen, da beide zusammenliegenden Pole zugleich anziehen oder abstoßen können. Man benutzt daher dieses Mittel sehr häufig zu einer Verstärkung der magnetischen Kraft.

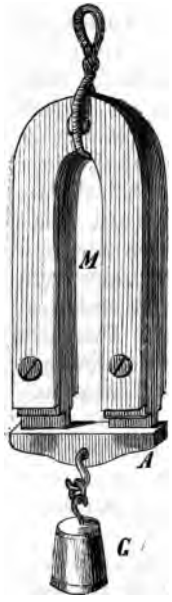
Wenn auch in jedem Eisen durch Vertheilung Magnetismus hervorgerufen werden kann, so zeigen doch weiches und hartes Eisen in dieser Hinsicht ein sehr verschiedenes Verhalten. In weichem Eisen wird der Magnetismus zwar sehr leicht hervorgerufen, er verschwindet aber auch bald wieder ganz oder zum großen Theile. In hartem Eisen, besonders im gehärteten Stahl, wird der Magnetismus viel schwieriger erregt, aber er ist von längerer Dauer. Man nennt diese Kraft, welche der magnetischen Vertheilung, namentlich im Stahl, einen so großen Widerstand entgegensetzt, die Coercitivkraft. Leichter wird diese Kraft überwunden, wenn das der Einwirkung eines Magnetpoles ausgesetzte Eisen eine Erschütterung erfährt. Ein Eisenstab, der sich zwischen den ungleichnamigen Polen zweier Magnete befindet, erhält darum einen kräftigeren Magnetismus, wenn man ihn zugleich mit einem harten Körper reibt. Da sich aber alles Eisen, wie wir sehen werden, besonders in aufrechter Stellung beständig unter magnetischen Einflüssen befindet, so wird auch fast in allen eisernen Geräthschaften, wenn sie eine Zeit lang im Gebrauche gewesen sind, durch Druck und Reibung magnetische Kraft erzeugt. Wenn man mit einem Hammer auf das Ende eines aufrecht stehenden Eisenstabes einige Schläge ausführt, so wird er sofort magnetisch. Selbst das Licht, besonders das violette und blaue, scheint nach Morechini's und Miß Sommerville's Beobachtungen in Stahlnadeln die magnetische Kraft zu erregen. Wärme dagegen erhöht die Coercitivkraft und schwächt den Magnetismus, Rothglühhitze vernichtet ihn sogar gänzlich.

Die Eigenschaft des Stahls, den Magnetismus auf die Dauer festzuhalten, hat in den Stand gesetzt, künstliche Magnete zu erzeugen, die vollkommen geeignet sind, die selteneren und ihrer Form wegen beim Gebrauche oft hinderlichen natürlichen Magnete zu ersetzen. Man erzeugt solche künstliche Magnete einfach dadurch, daß man entweder abwechselnd die eine Hälfte eines Stahlstabes mit dem einen Pole, die

andere Hälfte mit dem entgegengesetzten Pole eines kräftigen Magneten von der Mitte ab gegen das Ende hin streicht, oder daß man gleichzeitig die entgegengesetzten Pole zweier Magneten von der Mitte gegen die Enden des Stahlstabes führt. Wenn man sich eines hufeisenförmigen Magneten zur Magnetisirung eines solchen Stahlstabes bedient, so setzt man diesen in der Mitte auf, streicht dann vorwärts und rückwärts nach beiden Enden hin und hebt ihn jedesmal in der Mitte wieder auf.

Solche künstliche Magnete sind es nun, die man gegenwärtig vorzugsweise anwendet, und zwar gerade in der erwähnten Hufeisenform. Diese Form gewährt nämlich den Vortheil, daß, wenn man an die Pole eines solchen Magneten (M Fig. 117) einen Anker aus weichem Eisen (A) anlegt, die beiden Pole sich in ihrer vertheilenden Wirkung auf den Magnetismus des Ankers unterstützen und nun zusammen bedeutend mehr als das Doppelte von dem zu tragen vermögen, was jeder Pol allein zu tragen im Stande ist. Man hat in dieser Weise Magnete erhalten, welche das Zehn- bis Zwanzigfache des eigenen Gewichtes tragen. Im Allgemeinen trägt ein Magnet von 1 Loth Gewicht das 32fache, ein Magnet von 1 Pfund Gewicht das 12fache und ein 40 Pfund schwerer nahezu das 4fache seines Gewichtes.

Fig. 117.

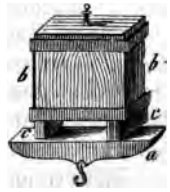


Durch wiederholtes Streichen kann man zwar die Kraft eines solchen Magneten steigern, doch immer nur bis zu einer gewissen Grenze, über welche hinaus keine Steigerung mehr möglich ist. Aber auch diese höchste Kraft bewahrt der Stahlmagnet nicht auf die Dauer; sie sinkt vielmehr schnell auf eine gewisse Stärke herab, die man seine Sättigung nennt. Die Stärke dieser dauernden magnetischen Kraft hängt von der Beschaffenheit des Stahles, besonders von seiner Härte ab. Durch wiederholte Erschütterungen wird sie geschwächt, und ebenso vermindert sie sich, wenn man die an den Anker angehängte Last so weit vermehrt, daß sie sammt dem Anker abgerissen wird.

Wenn natürliche Magneten zum Tragen eingerichtet werden sollen, so versieht man sie mit einer sogenannten Armirung. Diese

besteht aus Platten von weichem Eisen (b b Fig. 118), welche an den beiden Polen des Magneten befestigt werden und unten in dickeren Füße (c c) auslaufen, vor welche ein Anker (a) gelegt werden kann. Nach dem Gesetze der magnetischen Vertheilung erhält dann jeder Fuß dieser Platten denselben Pol, welchen der Magnet selbst an der betreffenden Seite hat. Einen der stärksten Magnete dieser Art besitzt das Taylor'sche Museum; derselbe hat mit der Armirung ein Gewicht von 307 Pfund und trägt mehr als 250 Pfund.

Fig. 118.



Der Diamagnetismus.

Die Thatsache, daß das Eisen nicht unter allen Umständen die Fähigkeit besitzt, magnetisch und von Magneten angezogen zu werden, daß es sie namentlich bei gewissen Temperaturgraden verliert, erweckte die Vermuthung, daß der Magnetismus eine allen Körpern gemeinsame Eigenschaft sein möchte, daß aber freilich für die meisten Körper die Temperatur eine außerordentlich tiefe sein dürfte, in welcher sie sich gegen den Magnetismus gerade so wie das Eisen verhalten würden. Für diese Vermuthung sprach auch die längst bekannte Thatsache, daß auch Nickel und Kobalt magnetisch werden können. Als man Versuche mit sehr kräftigen Magneten anstellte, fand sich, daß überhaupt noch eine Menge anderer Metalle, namentlich Mangan, Chrom, Palladium, Platin, Cerium, Titan, und selbst manche nicht metallische Substanzen, wie Flußspath, Graphit, Holzkohle, Siegellack, mit dem Eisen die Eigenschaft theilen, vom Magneten, wenn auch in sehr schwachem Grade, angezogen zu werden. Immerhin blieb der Magnetismus eine Ausnahmeerscheinung. Bei weitem die meisten irdischen Körper zeigten keine Spur einer Empfänglichkeit für diese Kraft.

Von der höchsten Bedeutung für den Fortschritt der Wissenschaft war darum die Entdeckung, welche der englische Physiker Faraday im Jahre 1845 machte, daß nämlich solche Substanzen, welche der Magnet nicht anzieht, von demselben *abgestoßen* werden, und zwar von beiden Polen in gleicher Weise. Zu diesen Substanzen gehören die meisten Metalle, wie Wismuth, Antimon, Zinn, Zink, Blei, Quecksilber, Kupfer, Silber, Gold, ferner der Bergkrystall, der Schwefel, der Phosphor, selbst Holz, Brod, Fleisch und verschiedene Flüssigkeiten, wie

Wasser und Weingeist. Faraday nannte diese Körper zum Unterschiede von den magnetischen *diamagnetische*.

Man kann sich sehr leicht von der magnetischen oder diamagnetischen Natur eines Körpers überzeugen, wenn man denselben in Form eines Stäbchens an einem ungedrehten Seidenfaden, also einem einfachen Coconfaden, in wagerechter Lage zwischen den Polen eines kräftigen hufeisenförmigen Magneten aufhängt. Ein Eisenstäbchen oder ein Stäbchen aus irgend einer anderen Substanz, die vom Magneten angezogen wird, stellt sich dann stets in eine mit der Linie, welche die beiden Pole verbindet, parallele Richtung, nimmt also eine axiale Lage an. Besteht aber das Stäbchen aus einer diamagnetischen Substanz, so nimmt es eine gegen die axiale Linie senkrechte, also äquatoriale Lage an. Flüssigkeiten kann man zum Behufe dieser Prüfung in kleine Röhrchen aus dünnem Glase einschließen. Ebenso werden Kügelchen, die aus irgend einer stark diamagnetischen Substanz bestehen, also z. B. Wismuthkügelchen, wenn sie an einem Seidenfaden aufgehängt und den Polen eines kräftigen Magneten genähert werden, sehr deutlich von beiden Polen abgestoßen.

Aber auch Luftarten zeigen ein sehr verschiedenes magnetisches Verhalten, wie die von Plücker in Bonn im J. 1851 angestellten Versuche lehren. Macht man eine dünne Glaskugel möglichst luftleer und nähert sie dann den Polen eines sehr kräftigen Magneten, so üben diese keine irgend wahrnehmbare Wirkung aus. Füllt man aber diese Kugel mit Sauerstoffgas, so wird sie lebhaft von den Magnetpolen angezogen, und zwar bis zu einem gewissen Grade im Verhältniß der Dichtigkeit des Gases. Atmosphärische Luft verhält sich ähnlich. Füllt man dagegen die Kugel mit Wasserstoffgas, so wird sie entschieden von den Magnetpolen abgestoßen. Sauerstoffgas ist also magnetisch, Wasserstoffgas diamagnetisch. Stickstoffgas, kohlensaures Gas und manche andere Luftarten haben unter gleichen Umständen noch keine wahrnehmbare Wirkung des Magneten gezeigt.

Wenn aber die atmosphärische Luft magnetisch ist, so müssen auch in derselben frei bewegliche, schwächer oder gar nicht magnetische Gase und Dämpfe von den Polen eines kräftigen Magneten durch die angezogene und zuströmende Luft hinweggedrängt werden. Da ferner die magnetische Anziehung der Luft mit ihrer Dichtigkeit zunimmt, so muß auch eine wärmere, also dünnere Luft, die sich in kälterer, also dichterer Luft befindet, in derselben Weise von den Magnetpolen weggedrängt werden. Daraus erklärt sich in der That die Erscheinung, daß eine

Lichtflamme oder der Rauch einer glimmenden Kerze von den Polen eines kräftigen Magneten scheinbar abgestoßen wird.

Gewiß sind die Erscheinungen des Diamagnetismus im großen Haushalte der Natur nicht ohne Einfluß. Leider aber ist seine Entdeckung noch so neu, und stehen die Erfahrungen über seine Erscheinungsweise noch so vereinzelt, daß auch diese Bedeutung für uns noch völlig in Dunkel gehüllt ist.

Der Erdmagnetismus.

Wie sehr auch die Erscheinungen des Magnetismus an sich geeignet sind, die allgemeine Aufmerksamkeit in Anspruch zu nehmen, so gewinnen sie doch dadurch noch eine ganz besondere Bedeutung, daß sie die Erde selbst in das Spiel dieser geheimnißvollen Kraft hineinziehen. Es ist schon erwähnt, daß, wenn man eine Magnetnadel so aufhängt, daß sie sich frei um ihren Schwerpunkt drehen kann, sie immer nur in einer bestimmten Lage gegen den Horizont und gegen die Weltgegenden zur Ruhe kommt, daß der eine Pol immer ungefähr nach Norden, der andere nach Süden zeigt. Offenbar kann die Magnetnadel diese Richtung nur durch eine auf sie einwirkende magnetische Kraft erhalten, und diese Kraft kann nirgends anders wohnen, als in der Erdkugel selbst. Die Erde selbst muß ein Magnet sein, und zwar muß sie ihren Südmagnetismus in der Nähe des geographischen Nordpoles, ihren Nordmagnetismus in der Nähe ihres Südpoles haben.

Die Geschichte der Entdeckung dieser merkwürdigen Eigenschaft der Erde verliert sich in das Dunkel der Mythen. Aber nicht etwa dem classischen Alterthume der Griechen und Römer, sondern der seltsamen und oft verachteten Welt der Chinesen, dieses so früh zur Cultur erwachten und so tief wieder gesunkenen Volkes, gehört sie an. In den unermeßlichen Steppen der Tartarei reiste man bereits vor Jahrtausenden auf magnetischen Wagen, die man Tschi-nan-kin nannte, und die sicher den Weg nach Süden zeigten. Will man auch der Sage nicht Glauben schenken, wenn sie als Erfinder dieser Wagen einen fabelhaften Kaiser Tschin-kung nennt, der um das Jahr 2064 v. Chr. gelebt haben soll, so steht doch immerhin fest, daß die Chinesen schon vor der christlichen Zeitrechnung die Südrichtung der Magnetnadel kannten und sie spätestens im 3. Jahrhundert v. Chr. in jenen Wagen und auf Schiffen zur See anwendeten. Erst von dort kam durch indische Seefahrer die Kenntniß der Magnetnadel oder des Compasses

zu den Arabern, von denen sie vielleicht im 12. Jahrhundert die Spanier erhielten.

Als jene großen Seereisen begannen, welche im 15. und 16. Jahrhundert durch die Entdeckung neuer Welten die Geschichte der Gegenwart einleiteten, da beobachteten Männer, wie Columbus und Cabot, daß die Nadel des Compasses nicht genau nach Norden weise, wie man bisher geglaubt hatte, daß ihre Richtung, der magnetische Meridian, bald nach Osten, bald nach Westen von dem geographischen Meridiane abweiche. Man bezeichnet diesen Winkel, welchen der magnetische Meridian mit dem geographischen bildet, oder den Winkel, um welchen die Richtung der Magnetnadel von der Mittagslinie abweicht, als magnetische Abweichung oder Declination. Sie ist gegenwärtig für Europa eine westliche und beträgt für London ungefähr 23°, für Berlin 16°, für Wien 13°, für Petersburg 6°.

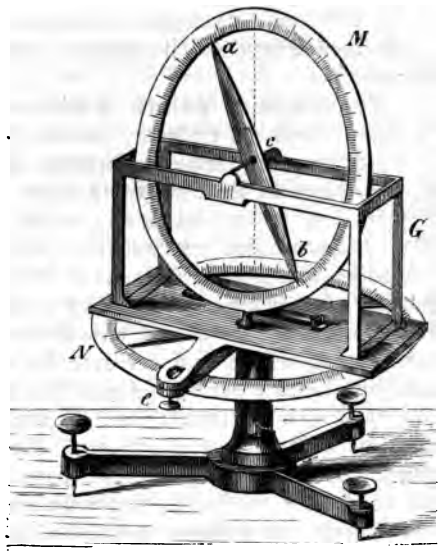
Wenige Jahre später entdeckte Hortmann in Nürnberg, daß eine an ihrem Schwerpunkte aufgehängte Magnetnadel sich nicht wagerecht stelle, sondern unter sich zeige, und schon im J. 1576 bestimmte Robert Norman in London die Größe dieser Neigung für jenen Ort. Man nennt diesen Winkel, welchen die Magnetnadel mit dem Horizonte bildet, und welcher gegenwärtig für Berlin ungefähr 67°, für Wien 64°, für Petersburg 70° beträgt, die magnetische Neigung oder Inclination.

Zur Bestimmung der magnetischen Neigung reicht natürlich der Compaß oder die Boussole nicht mehr aus, da die Magnetnadel sich hier nur in horizontaler Richtung drehen kann, also nicht vertical frei beweglich ist. Man bedient sich deshalb dazu des sogenannten Inclinatoriums (Fig. 119, Seite 427). Dasselbe besteht aus einer Magnetnadel (a b), welche sich um eine durch ihren Schwerpunkt gehende Axe c dreht und über einem vertical stehenden Kreise (M) spielt. Die Axe der Nadel ruht auf einem Rahmen, der von einem Gestell (G) getragen wird, das sich vermittelst eines Armes (e) um den Mittelpunkt eines horizontalen Kreises (N) drehen läßt. Eine kleine Wasserwage oder Libelle und drei Stellschrauben gestatten die genaue horizontale Stellung dieses Kreises. Bei der Messung der Inclination muß das Gestell (G) natürlich stets so gedreht werden, daß die Ebene des Kreises M in die Ebene des magnetischen Meridians fällt.

Die zahlreichen Reisen, welche in den letzten Jahrhunderten auf allen Meeren der Erde von den Tropen bis zu den Polarregionen ausgeführt wurden, gaben reiche Gelegenheit, die Erscheinungen des

Erdmagnetismus näher zu beobachten. Sehr bald erkannte man daher, daß die Neigung so wenig, als die Abweichung der Magnetnadel für die verschiedenen Punkte der Erde die gleiche ist. Insbesondere zeigte sich eine große Veränderlichkeit in der Richtung der Nadel, wenn man sich hohen Breiten näherte, und man mußte daraus den Schluß ziehen, daß es Punkte auf der Erde geben müsse, wo die Magnetnadel überhaupt ihre Richtung verliert und sich genau senkrecht stellt, und daß es jenseits derselben sogar Punkte geben könne,

Fig. 119.



wo die Magnetnadel auf der Nordhälfte der Erde nicht mehr nach Norden, sondern nach Süden, und auf der Südhälfte nicht mehr nach Süden, sondern nach Norden zeigt. Da gegen den Erdäquator hin die Neigung der Magnetnadel allmälig abnimmt, so mußte man hier wiederum eine Linie erwarten, in welcher die Magnetnadel eine völlig wagerechte Lage behauptet. Jene Punkte nun, in welchen sich sämmtliche magnetische Meridiane schneiden und die Magnetnadel eine senkrechte Stellung einnimmt, nennt man die magnetischen Pole der Erde, die Linie aber, in welcher die Magnetnadel wagerecht schwebt, den magnetischen Aequator.

Der magnetische Nordpol ist von dem unerschrockenen Seefahrer James Roß, als er seinen Oheim John Roß auf dessen Reise in die Nordpolregionen begleitete, im J. 1831 auf Boothia Felix im Norden des amerikanischen Continentes unter 70° 5′ 17″ nördl. Br. und 96° 45′ westl. L. von Greenwich aufgefunden worden. Dem magnetischen Südpole aber hat sich derselbe Reisende auf seiner kühnen Entdeckungsreise in die Südpolarmeere im J. 1841 genähert, als er unter 76° 12′ südl. Br. und 164° 11′ östl. L. von Greenw. eine

Neigung der Magnetnadel von 88° 37′ fand. Aus dieser und anderen in der Nähe angestellten Beobachtungen hat man die Lage des magnetischen Südpoles auf ungefähr 154° östl. L. und 75½° südl. Br. berechnet.

Der magnetische Aequator ist keineswegs, wie der geographische, ein größter Kreis um die Erde, sondern eine unregelmäßig gekrümmte Linie, die den geographischen Aequator in zwei einander nicht genau gegenüberliegenden Punkten durchschneidet, von denen der eine an der Westküste von Afrika, der andere im stillen Oceane, ziemlich in der Mitte zwischen Asien und Amerika, liegt. Er entfernt sich auf der Nordhälfte der Erde in Afrika und Asien ungefähr 12°, auf der Südhälfte in Südamerika bis auf 14° vom geographischen Aequator.

So störend anfangs auch diese Verschiedenheiten in der Richtung der magnetischen Kraft auf der Erde für die Bedeutung der Magnetnadel als Führerin durch unbekannte Meere erscheinen mochten, so versprachen sie doch bei näherer Kenntniß gerade in dieser Hinsicht bedeutende Vortheile für die Schifffahrt. Konnte man für jeden Ort die Abweichung und Neigung der Magnetnadel genau feststellen, so gab es kein bequemeres Mittel zur Ortsbestimmung. In dieser Erwartung entwarf schon Halley Karten, welche den magnetischen Zustand der Erde veranschaulichen, und Hansteen, Erman, Barlow u. A. haben diese Karten in neuerer Zeit vervollkommnet. Man findet darauf zunächst diejenigen Oerter, welche eine gleiche Abweichung der Magnetnadel zeigen, durch krumme Linien verbunden, welche den Namen der isogonischen führen. Eine Linie ohne Abweichung, in welcher also überall die Magnetnadel genau nach Norden oder Süden zeigt, theilt die Erdoberfläche in zwei ungleiche Hälften, von denen die eine die östlichen Theile Amerikas, den atlantischen Ocean, Europa und Afrika, die andere fast ganz Asien, den stillen Ocean und den größten Theil von Amerika umschließt. Auf jener Hälfte findet eine westliche, auf dieser eine östliche Abweichung statt. In dieser letzteren Hälfte findet sich indeß noch eine zweite Linie ohne Abweichung, die im östlichen Asien und den benachbarten Meeren eine in sich zurücklaufende Curve bildet, innerhalb welcher die Abweichung wieder eine westliche ist.

Außer diesen isogonischen Linien finden sich auf den magnetischen Karten noch andere, welche die Oerter gleicher magnetischer Neigung verbinden, und die den Namen der isoklinischen Linien führen. Endlich aber hat man auch versucht, die verschiedenen Intensitäten der *magnetischen* Kraft auf der Erde zu veranschaulichen. Diese Inten-

sitäten hat man, wie bei der Anziehung durch die Schwerkraft, durch Beobachtung der Schwingungen einer wagerecht schwebenden Nadel gemessen. Humboldt war es, der zuerst auf diese Verschiedenheiten der Intensität aufmerksam machte, als er bei seiner Rückkehr von Amerika fand, daß seine Magnetnadel, die in Peru nur 211 Schwingungen in 10 Minuten gemacht hatte, in Paris deren 245 in derselben Zeit vollendete. Im Allgemeinen nimmt die Intensität des Erdmagnetismus vom magnetischen Aequator gegen die Pole hin zu; doch ist sie weder an den Polen am stärksten, noch im magnetischen Aequator an allen Punkten die gleiche. Die größte, im Süden von Australien beobachtete magnetische Intensität übertrifft die schwächste am Aequator fast um das Dreifache, während bekanntlich die Schwere am Pole die am Aequator nur etwa um $^1/_{200}$ übersteigt. Die Linien, welche die Orte gleicher magnetischer Intensität verbinden, werden übrigens isodynamische genannt.

Alle solche Karten können natürlich nur den magnetischen Zustand der Erde für einen bestimmten Zeitpunkt veranschaulichen. Denn dieser Zustand ist zu keiner Zeit derselbe. Es sind höchst merkwürdige Veränderungen, die in der Richtung und selbst in der Intensität der erdmagnetischen Kraft vor sich gehen, bald langsam und im Laufe der Jahre und Jahrhunderte vorschreitend, bald plötzlich und nur wenige Stunden oder Minuten umfassend, bald regelmäßig wiederkehrend von Jahr zu Jahr oder von Tag zu Tag, bald jeder Regel und jedem Gesetze Trotz bietend. Jene Linie ohne Abweichung, welche jetzt das Weiße Meer und Sibirien durchschneidet, ging noch im Jahre 1657 durch London, im Jahre 1669 durch Paris. Damals zeigte die Magnetnadel an jenen Orten genau nach Norden. Vor dieser Zeit wich sie nach Osten ab; nach dieser Zeit und bis auf den heutigen Tag weicht sie nach Westen ab. Diese westliche Abweichung ist bis zum Jahre 1814 im Wachsen gewesen und hatte in jenem Jahre für Paris $22^1/_2{}^0$ erreicht; seitdem ist sie wieder im Abnehmen begriffen und beträgt gegenwärtig nur noch etwa 19^0. In einer ähnlichen Veränderung befindet sich die Inclination der Magnetnadel. Die Beobachtungen umfassen zwar kaum noch ein Jahrhundert; doch ist unzweifelhaft, daß auch die Neigung der Magnetnadel im mittleren Europa, seitdem man sie beobachtet hat, im Abnehmen begriffen ist. Ebenso scheint nach den neuesten Beobachtungen eine Abnahme der Intensität stattzufinden. Alle diese Veränderungen nöthigen zu dem Schlusse, daß auch die Lage der magnetischen Pole und des magnetischen Aequators der Erde nicht beständig

die gleiche sein kann. Gegenwärtig scheint der nördliche Pol in einer östlichen, der südliche in einer westlichen Bewegung begriffen zu sein. Wahrscheinlich wird diese Bewegung nur bis zu einer gewissen Grenze fortschreiten und dann wieder umkehren. Ueber die Dauer dieser Periode aber werden erst spätere Jahrhunderte entscheiden können, und um die Ursachen dieser Veränderungen zu erkennen, reichen vollends die bisherigen Beobachtungen nicht aus.

Außer dieser großen periodischen Bewegung der Magnetnadel zeigen sich aber auch noch kleinere tägliche und jährliche, ziemlich regelmäßige Schwankungen, die ohne Zweifel ihren Grund in dem Wechsel der Tages- und Jahreswärme haben dürften, da sie mit diesem in dieselben Perioden eingeschlossen sind. So lenkt jeder Morgen die Magnetnadel nach Westen, jeder Abend sie nach Osten ab, und zwar im Frühling stärker als im Herbst. Die Erklärung, welche Dove für diese Erscheinung gegeben hat, dürfte nicht unzutreffend sein. Der Magnetismus wird nämlich, wie bereits erwähnt, durch die Wärme geschwächt. Des Morgens werden aber die östlichen Gegenden durch die Sonne früher und stärker erwärmt, als die westlichen; die letzteren müssen also auch stärker anziehend auf die Magnetnadel wirken, als die östlichen. Das Nordende der Magnetnadel muß sich also am Vormittage gegen Westen bewegen. Nachmittags aber muß diese Bewegung in die entgegengesetzte übergehen, weil auch die Verhältnisse der Erwärmung der Erdoberfläche durch die Sonnenstrahlen die entgegengesetzten sind. Während der Nacht steht dann die Nadel still. In ähnlicher Weise lassen sich denn auch die stärkern Bewegungen der Magnetnadel im Sommer und die schwächeren im Winter erklären, da die Ungleichheit zwischen Tages- und Nachttemperatur bei uns im Sommer weit bedeutender zu sein pflegt, als im Winter. Uebrigens umfassen diese täglichen Variationen der Magnetnadel immer nur wenige Minuten, für Göttingen z. B. im Sommer $12^1/_2$, im Winter nur 6 Minuten.

Endlich aber zeigt die Magnetnadel außer diesen regelmäßigen periodischen Schwankungen oder Variationen zuweilen auch höchst unregelmäßige Bewegungen oder sogenannte Störungen. Sie treten plötzlich ein, als würden sie durch die Anziehungen kleiner in der Nähe befindlicher, regelloser Eisenmassen bewirkt, und sie zeigen sich nicht mehr als eine ruhige pendelartige Schwingung der Nadel, sondern als eine regellose vor- und rückwärts springende Bewegung. Besonders treten solche Störungen zur Zeit eines Nordlichts ein, beschränken sich dann aber nicht blos auf solche Orte, an denen das Nordlicht sicht-

bar ist, sondern erscheinen oft gleichzeitig selbst an den entlegensten Punkten der Erde.

Wo ist nun der Sitz dieser magnetischen Kraft, und welche geheimnißvolle Ursache bewirkt alle diese Veränderungen? Das ist eine Frage, die eine Bewegung in der wissenschaftlichen Welt hervorgerufen hat, wie sie die Welt nur selten sieht. Alex. v. Humboldt war es, der die mächtigsten Regierungen der Erde, die englische und russische, für die Erforschung dieser Erscheinungen gewann, und Gauß und Weber in Göttingen wußten zu demselben Zwecke die Gelehrten der Erde zu vereinigen. Von Helsingfors bis Tiflis, von Sitka im russischen Amerika bis Peking wurden ununterbrochene Reihen von Beobachtungen in's Werk gesetzt; in Sibirien und Canada, in Indien und auf Vandimensland wurden magnetische Warten errichtet, deren Unterhaltung jährlich viele Tausende kostete; und selbst in die Eismeere des Nordpols und bis zu jenen Einöden des Südpols, wo das Victorialand mit seinem 13,000 Fuß hohen Vulcane Erebus aus ewigem Eise emporsteigt, trieb der Eifer, die Geheimnisse des Erdmagnetismus zu erforschen, kühne Seefahrer. Noch ist trotz aller dieser Mühen das große Räthsel nicht gelöst; noch hat sich nirgends ein einfaches Gesetz in den überaus verwickelten Erscheinungen gezeigt. Der Magnetismus selbst ist noch immer eine geheimnißvolle Kraft, die in den Köpfen der Menschen ihren Spuk treibt und das Stichwort bildet für alles Unerklärliche in den Erscheinungen des Lebens.

Der Laie liebt es, solchen unbegriffenen magischen Naturkräften besonders da einen Platz anzuweisen, wo er im Seelenleben ähnlichen unbegriffenen Erscheinungen begegnet. Was Mutter und Kind, was Verwandte und Landsleute an einander kettet, was selbst den Menschen zum Menschen in der Einöde zieht, das nennt er ein natürliches Band. Wenn der Beleidigte oder Verfolgte seinen Feind flieht, wenn der Anblick desselben ihm Unlust und Widerwillen verursacht, so nennt er das eine natürliche Abneigung. Aber wenn jener geheimnißvolle Zauber sich geltend macht, der unter Tausenden zwei Seelen sich finden läßt oder für immer von einander stößt, die zum ersten Male einander erblicken, dann hat er nur Namen für diese unergründlichen Gefühle, dann spricht er von Sympathien und Antipathien. Allerdings gründen sich Liebe und Haß nicht auf Ueberlegung, fließt ihre Quelle nicht unmittelbar aus dem Urtheile über Werth oder Unwerth, Schönheit oder Häßlichkeit. Und dennoch ist es ein Ganzes, das auf uns einwirkt, ein Ganzes, dessen Zauberkreis oft selbst leblose Dinge umfaßt.

Dennoch liegt ein Urtheil, eine Vergleichung im Hintergrunde der Gefühle, die aber das Werk eines Augenblicks ist, in welchem sich die verwickelten Operationen des Denkens so zusammendrängen, daß wir uns selbst nicht mehr Rechenschaft darüber geben können, daß wir unbewußt einem Zuge zu folgen glauben, gleich jenem uns so unbegreiflichen Instincte im Seelenleben der Thiere. Nur weil wir uns der zahllosen natürlichen Einwirkungen nicht bewußt werden, glauben wir an eine unnatürliche, magische Kraft. Eine solche magische Kraft ist auch der Magnetismus, d. h. nichts Anderes, als die unbegriffene Summe mannigfacher physischer Wirkungen, die erst begriffen werden wird, wenn die Summe der Beobachtungen eine gewisse Höhe erreicht hat.

Zweites Kapitel.

Die Elektricität.

Schon den alten Griechen war es bekannt, daß der Bernstein, den sie Elektron nannten, und der aus dem Norden Deutschlands und Rußlands zu ihnen gebracht wurde, durch starkes Reiben die Eigenschaft erhält, leichte Körper, wie Strohhalme und Holzspäne, an sich zu ziehen, und Einer ihrer Weisen, Thales von Milet, der um das Jahr 600 v. Chr. lebte, glaubte deshalb, der Bernstein sei belebt. Auf diese einzige Erscheinung blieb die Kenntniß der elektrischen Kraft bis zum Anfange des 17. Jahrhunderts beschränkt. Da entdeckte der englische Arzt Gilbert, daß auch andere Körper, namentlich der Diamant, Bergkrystall und andere Edelsteine, aber auch Glas, Schwefel und Harz, durch Reiben die Eigenschaft des Bernsteins annehmen, und Otto von Guericke, der Erfinder der Luftpumpe, baute in Folge dieser Entdeckung bereits im Jahre 1670 die erste Elektrisirmaschine, indem er eine Schwefelkugel vermittelst einer mechanischen Vorrichtung sich rasch um eine Axe drehen ließ und gleichzeitig mit der einen Hand darauf drückte. Er war es auch, der zuerst an dieser Schwefelkugel das elektrische Licht beobachtete, obgleich eigentliche Funken, von einem knisternden Geräusche begleitet, erst von Wall im Jahre 1708 bemerkt wurden, als er den Finger einem starkgeriebenen Stücke Bernstein näherte. Alle diese Erscheinungen, die Anziehung leichter Körper, den überspringenden Funken und das knisternde Geräusch, bezeichnet man als *elektrische Erscheinungen*. Man kann sie am einfachsten hervorrufen, wenn man eine Siegellackstange mit einem wollenen Lap-

pen reibt. Sie wird dann kleine Papierschnitzel auf dem Tische anziehen; man wird im Dunkeln den Funken erblicken, wenn man ihr die Spitze des Fingers nähert, und zugleich das Knistern vernehmen.

Leitung und Isolirung.

Bis zum Anfange des 18. Jahrhunderts glaubte man, daß nur gewisse Körper, wie Glas, Harz, Schwefel ꝛc., die Fähigkeit besäßen, elektrische Erscheinungen zu zeigen, gerade wie nach damaliger Ansicht das Eisen allein die Fähigkeit besaß, magnetisch zu werden. Man unterschied darum elektrische Körper und unelektrische. Da machte im Jahre 1729 der Engländer Gray die wichtige Entdeckung, daß die Elektricität sich auch von elektrischen Körpern auf unelektrische übertragen lasse. Veranlassung dazu gab die einfache Beobachtung, daß, wenn man eine gläserne, an beiden Enden durch Korke verschlossene Röhre durch Reiben elektrisch mache, nicht blos die Röhre selbst, sondern auch die ihre Enden verschließenden Korke leichte Körper anziehen und, nachdem man sie mit dem Finger berührt, wieder abstoßen. Gray verfolgte diese Entdeckung weiter und befestigte zunächst eine elfenbeinerne Kugel vermittelst hölzerner Stäbe oder metallener Drähte an den Kork. Da er fand, daß auch dann noch die Kugel sich elektrisch zeigte, und er begierig war, die Grenzen dieser elektrischen Fortleitung kennen zu lernen, so wandte er einen langen hänfenen Bindfaden an, den er vermittelst einer Schleife über die Röhre hing, und an dessen von einem hohen Balcon herabhängenden Ende er die Kugel befestigte. Auch jetzt zeigte die Kugel nach Elektrisiren der Glasröhre die Fähigkeit, kleine Körper anzuziehen. Um die elektrische Fortleitung noch weiter zu treiben, zog er nun den Bindfaden in horizontaler Richtung fort, indem er ihn durch eine hänfene Schleife gehen ließ, die von einem darüber befindlichen Balken herabhing. Wider Erwarten blieb jetzt aller Erfolg aus. Gray zog daraus den richtigen Schluß, daß die Elektricität durch den von dem Balken herabhängenden Bindfaden in diesen abgeleitet werde. Da er aber der Meinung war, daß an dieser Ableitung nur die Dicke des Bindfadens schuld sei, so vertauschte er die hänfene Schnur mit einer dünnen seidenen. In der That zeigte sich jetzt die Kugel wieder elektrisch, ungeachtet der Bindfaden, durch den sie mit der geriebenen Glasröhre in Verbindung stand, eine Länge von 90 engl. oder 84½ Par. Fuß hatte. Der Zufall wollte es, daß bei diesen Versuchen einmal die seidene Schnur zerriß und nun durch

einen dünnen Messingdraht ersetzt wurde. Jeder Erfolg blieb jetzt aus, gerade wie vorher, als man die dicke hänfene Schnur angewandt hatte, und der Beweis war damit geliefert, daß die elektrische Fortleitnng nicht von der größeren oder geringeren Dicke, sondern von der Substanz der Schnur abhängt. Bei Anwendung seidener Schnüre von hinreichender Stärke zum Tragen der leitenden hänfenen Schnur gelang es in der That, die Elektricität auf Strecken von mehr als 700 Fuß ohne merkliche Schwächung fortzuleiten.

In Folge dieser wichtigen Entdeckung unterscheidet man überhaupt *gute* und *schlechte Leiter* der Elektricität. Zu den ersteren gehören die Metalle, die Kohle, Wasser und wässrige Flüssigkeiten, darum auch frische Pflanzen- und Thierkörper und das feuchte Erdreich. Schlechte Leiter sind Glas, Schwefel, Harz, Seide, Haare, Federn, trockenes Holz, Papier, Oele und Fette und trockene Luft. Dazwischen stehen noch als sogenannte *Halbleiter* Elfenbein, Knochen, Horn, Marmor, Kreide, Gyps und die meisten Erden und Steine. Der Unterschied zwischen guten und schlechten Leitern beruht nur auf dem verschiedenen Widerstande, welchen sie der Verbreitung der Elektricität entgegensetzen. Bei guten Leitern verbreitet sich die Elektricität sehr schnell über die ganze Oberfläche, und sie verlieren sie darum auch, wenn sie berührt werden, augenblicklich in ihrer ganzen Ausdehnung. Schlechte Leiter empfangen und verlieren die Elektricität nur an der berührten Stelle oder in der nächsten Umgebung derselben.

Bei dieser Eigenschaft so vieler Körper, die Elektricität fortzuleiten, ist es sehr begreiflich, daß eine Menge von Erscheinungen der Beobachtung entgehen mußten. Nur schlechte Leiter konnten durch Reiben elektrisirt werden, wenn man sie in der Hand hielt, bei guten Leitern mußte die Elektricität durch die Hand sofort in den menschlichen Körper abgeleitet werden. Gute Leiter können daher durch Reiben oder durch Mittheilung nur elektrisirt werden, wenn sie ringsum von schlechten Leitern umgeben, oder wenn sie *isolirt* sind. Gewöhnlich wendet man zu solcher Isolirung Glas, Guttapercha oder Seide an. Zum Glück ist auch die trockene Luft ein schlechter Leiter und zur Isolirung geeignet; in feuchter Luft dagegen werden elektrische Versuche nur sehr unvollkommen gelingen. Absolute Nichtleiter giebt es freilich nicht, und darum ist auch eine vollkommene Isolirung, die einem Körper gestattete, für alle Zeit seine Elektricität unverändert beizubehalten, eine Unmöglichkeit. Die Widerstände, welche die isolirende *Umgebung* der Fortleitung der Elektricität entgegensetzt, sind nicht un-

überwindlich. Sie werden um so leichter überwunden, je stärker die Elektricität in dem isolirten Körper angehäuft ist, und die Verluste eines elektrischen Körpers werden nur erst dann unmerklich, wenn seine Elektricität auf ein geringes Maß herabgesunken ist.

Anziehung und Abstoßung.

Wenn man ein kleines Papierscheibchen an einem seidenen Faden aufhängt und es dann mit einer Siegellackstange, die man zuvor durch Reiben mit einem wollenen Lappen elektrisch gemacht hat, berührt, so wird dasselbe abgestoßen. Nähert man aber dann diesem Scheibchen eine Glasstange, die gleichfalls durch Reiben mit einem wollenen Lappen elektrisch gemacht ist, so wird es von dieser angezogen. Berührt man das Papierscheibchen erst mit der Glasstange, so wird es von dieser abgestoßen, und nähert man ihm dann eine Siegellackstange, so wirkt diese anziehend. Hängt man neben einander zwei solcher Scheibchen an seidenen Fäden auf und berührt beide mit einer Siegellackstange, so stoßen sie einander ab. Berührt man sie beide mit einer Glasstange, so stoßen sie gleichfalls einander ab. Berührt man endlich das eine Scheibchen mit der Glasstange, das andere mit der Siegellackstange, so ziehen beide einander an.

Dieser interessante Gegensatz in dem elektrischen Verhalten des Glases und Harzes, der zuerst von dem Franzosen du Fay im Jahre 1733 entdeckt wurde, führte zur Annahme zweier verschiedener Arten von Elektricität, die man Glas- und Harz-Elektricität nannte, die aber von Franklin später als positive und negative Elektricität bezeichnet worden sind. Es sind ganz ähnliche Gegensätze, wie sie bereits beim Magnetismus hervortraten, und es gilt auch für sie dasselbe Gesetz. Die gleichnamigen Elektricitäten stoßen einander ab, die ungleichnamigen ziehen einander an.

Glas und Harz sind es natürlich nicht allein, an denen sich diese elektrischen Gegensätze zeigen. Um zu erkennen, ob ein Körper, z. B. eine geriebene Schwefelstange, die eine oder die andere Elektricität besitzt, hängt man zwei Papierscheibchen an seidenen Fäden auf und ertheilt dem einen durch Berührung mit einer Glasstange, die man mit einem wollenen Lappen gerieben hat, positive, dem andern durch Berührung mit einer Siegellackstange, die ebenfalls mit einem wollenen Lappen gerieben ist, negative Elektricität. Nähert man dann den zu prüfenden Körper nach einander jedem dieser Scheibchen, so wird er

von einem derselben abgestoßen werden und besitzt dann dessen Elektricität. Die Schwefelstange z. B. wird, wenn sie zwar gleichfalls mit einem wollenen Lappen gerieben war, von dem durch die Siegellackstange mit negativer Elektricität geladenen Scheibchen abgestoßen werden, besitzt also selbst negative Elektricität.

Ebenso wenig wie die magnetischen Gegensätze können auch die elektrischen jemals getrennt, der eine ohne den andern, auftreten. Stets erscheinen beide gleichzeitig. Werden irgend zwei Körper an einander gerieben, so wird nicht blos der eine elektrisch, sondern wenn der geriebene positive Elektricität bekommt, so erhält der reibende negative. Wenn Glas mit einem wollenen Lappen gerieben wird, so wird das Glas positiv, zugleich aber die Wolle negativ elektrisch. Wird Siegellack mit Wolle gerieben, so wird ersterer negativ, letztere positiv elektrisch. Die Elektricität, welche ein Körper durch Reiben annimmt, ist also durchaus abhängig von dem Körper, womit er gerieben wird. Eine Glasstange mit einem Katzenfell gerieben, wird negativ, mit Wolle gerieben, positiv elektrisch. Von einer Reihe von Körpern, wie Katzenfell, polirtes Glas, Wolle, Seide, Harz, mattgeschliffenes Glas, erhält jeder vorangehende Körper, wenn er mit einem nachfolgenden gerieben wird, positive Elektricität, während der nachfolgende negativ elektrisch wird.

Endlich hängt aber auch die Art der Elektricität, welche ein Körper annimmt, nicht blos von seiner materiellen Natur, sondern selbst von seiner Oberflächenbeschaffenheit ab, und geringe Veränderungen schon reichen hin, das Entgegengesetzte hervorzurufen. So wird polirtes Glas, mit Wolle gerieben, positiv, mattgeschliffenes Glas dagegen negativ elektrisch.

Die Elektrisirmaschine.

Um kräftige Wirkungen der Elektricität hervorzurufen, hat man bereits im vorigen Jahrhundert Maschinen ersonnen, welche theils durch mechanische Vorrichtungen in den Stand setzen, dauernd und stetig Elektricität zu erzeugen, theils gestatten, die erzeugte Elektricität in einem isolirten Körper anzuhäufen. Diese Elektrisirmaschinen bestehen also im Wesentlichen aus einem Reiber, einem Reibzeug und einem isolirten Conductor. Als Erfinder derselben bezeichnet man gewöhnlich Otto von Guericke. Allerdings bediente sich dieser schon einer mechanischen Vorrichtung, um den Reiber,

eine Schwefelkugel, schnell um eine Axe zu drehen; aber das Reibzeug bildete nur die hohle Hand, und an einem Conductor fehlte es noch gänzlich, da der Unterschied zwischen guten und schlechten Leitern und die Elektrisirung eines isolirten Leiters durch Mittheilung zu Guericke's Zeit noch unbekannt war.

Die ältesten wirklichen Elektrisirmaschinen wurden von deutschen Physikern, Bose in Wittenberg und Hausen und Winkler in Leipzig, in den Jahren 1742—1745 angefertigt. Bei diesen bestand der Reiber aus einer Glaskugel, das Reibzeug wurde noch durch die hohle Hand ersetzt, und den Conductor bildete ein an seidenen Schnüren von der Decke des Zimmers herabhängender Flintenlauf. Später wurde die

Fig. 120.

Glaskugel durch einen gläsernen Cylinder ersetzt. Bei den heutigen Elektrisirmaschinen (Fig. 120) besteht der Reiber gewöhnlich aus einer starken Scheibe von Spiegelglas, die durch eine Kurbel um eine im

mittleren Theile gleichfalls aus Glas bestehende Axe gedreht wird. Als Reibzeug dienen zwei mit Amalgam bestrichene lederne Kissen, an welche vorn zwei Flügel aus Wachstaffet befestigt sind, die sich dicht an die Scheibe anlegen und dadurch verhindern, daß sich die Elektricität des Reibers sofort in die Luft verbreitet. Der Hauptconductor ist eine hohle Messingkugel, welche von einer Glassäule getragen wird. Zur Ueberführung der Elektricität sind an dem Conductor zwei hölzerne Ringe angebracht, zwischen denen die Scheibe sich hindurchbewegt, und die an dieser innern Fläche mit feinen Nadelspitzen besetzt sind, welche durch einen Stanniolstreifen unter sich und mit dem messingenen Conductor leitend verbunden sind. Ein zweiter, gleichfalls von Glassäulen getragener messingener Conductor (B) ist an der Rückseite der Kissen des Reibzeugs angebracht. Während nämlich der erste die Elektricität des Reibers aufnimmt, ist der letztere zur Aufnahme der Elektricität des Reibzeugs bestimmt. Beide, Reiber und Reibzeug, werden durch die Umdrehung des Reibers elektrisch, jener positiv, dieser negativ. Will man daher die positive Elektricität des Reibers erhalten, so muß man die negative Elektricität des Reibzeugs ableiten, und dies geschieht dadurch, daß man den Conductor desselben vermittelst einer Kette mit der Erde in Verbindung bringt. Will man aber die negative Elektricität des Reibzeugs erhalten, so muß man die Elektricität des Reibers isoliren, also den Conductor desselben mit der Erde in leitende Verbindung bringen.

Diese Elektrisirmaschinen haben durch die Anhäufung größerer Elektricitätsmengen in dem Conductor und deren kräftige Wirkungen Gelegenheit gegeben, die Erscheinungen der Elektricität näher kennen zu lernen. Viele dieser Versuche sind gegenwärtig nur noch als Spielereien zu betrachten, aber sie haben das große Verdienst gehabt, die öffentliche Aufmerksamkeit auf diese elektrischen Erscheinungen zu lenken, die zu einer Zeit, wo Umherziehende sie auf Jahrmärkten und Messen zur Schau stellten, zu den populärsten des ganzen physikalischen Gebietes gehörten.

Am meisten in die Augen fallend sind die Lichterscheinungen. Wenn man der Scheibe der Elektrisirmaschine nach mehrmaliger Umdrehung den Finger nähert, so springen Funken hervor, und man kann sogar an verschiedenen Stellen mehrmals nach einander Funken hervorlocken, weil der Reiber ein schlechter Leiter ist, dem durch Annäherung eines Körpers nur in der nächsten Umgebung die Elektricität entzogen wird. Weit kräftigere Funken und schon aus weit größerer Entfernung *lassen sich dem* Conductor entlocken, der als guter Leiter auch auf ein-

mal die Elektricität seiner ganzen Oberfläche abgiebt. Bei guten Maschinen erreichen diese Funken eine Länge von mehreren Zollen, oft von 20—22 Zoll, und sie durchlaufen dann nicht mehr eine gerade Linie, sondern eine gebrochene oder selbst ästige, wie die bekannte Zickzacklinie des Blitzes. Offenbar erklärt sich diese letztere Erscheinung aus Verdichtungen der Luft, welche der Funke bewirkt, und die dann die Luft zu einem schlechteren Leiter für die Elektricität machen, so daß diese veranlaßt wird, zu der nichtverdichteten Luft seitwärts abzuspringen. Da solche Funken auch dann entstehen müssen, wenn man den Leiter, durch welchen die Elektricität vom Conductor in den Boden überströmt, unterbricht, so kann man durch wiederholte Unterbrechungen eine Reihe von Funken zugleich erzeugen. Darauf beruhen eine Menge hübscher Spielereien. So erhält man eine prachtvolle Illumination, wenn man eine Glasröhre oder Glasplatte mit einer Reihe kleiner Rauten von Stanniol beklebt, deren Spitzen sich fast berühren, und dann im Dunkeln einen Funken hindurchschlagen läßt.

Bringt man an dem Conductor einer kräftigen Elektrisirmaschine eine kleine metallene Kugel an, so sieht man aus derselben im Dunkeln einen förmlichen Strahlenbüschel ausströmen, der noch vergrößert wird, wenn man die flache Hand oder einen andern Leiter in einiger Entfernung darüber hält. Je kleiner die Kugel ist, desto gleichförmiger wird das Ausströmen der Elektricität, desto kleiner wird der Büschel, der endlich in einen kleinen leuchtenden Stern übergeht, wenn statt der Kugel nur eine feine Spitze vorhanden ist. Bei starken Maschinen beobachtet man selbst am Ende etwas dickerer Stäbe nur ein gleichförmiges ruhiges Glimmen, während bei schwachen Maschinen der Büschel noch deutlich am abgerundeten Ende solcher Stäbe erscheint. Auch am negativen Conductor des Reibzeugs erhält man solche Strahlenbüschel, die aber viel kleiner sind und viel eher in einen leuchtenden Stern oder ein ruhiges Glimmen übergehen. Aber nicht blos, wenn man eine kleine Kugel auf den Conductor einer Elektrisirmaschine aufsetzt, sondern auch wenn man die Kugel oder den Stab dem Conductor entgegenhält, sieht man die im Stabende angehäufte Elektricität in Büschelform gegen den Conductor ausströmen.

Wenn man einen Menschen auf den sogenannten Isolirschemel, einen Schemel mit gläsernen Füßen, stellt und ihn mit dem Conductor einer Elektrisirmaschine in Verbindung bringt, so wird er vollkommen zu einem Theile dieses Conductors und zeigt alle Erscheinungen, wie dieser selbst. Aus jedem Theile seines Körpers kann man

Funken ziehen, die sogar entzündend wirken können. Seine Haare sträuben sich empor, und von ihren Spitzen strömt ein Lichtschimmer aus, so daß im Dunkeln sein Kopf wie von einem Heiligenscheine umgeben erscheint.

Am glänzendsten zeigen sich die Erscheinungen des elektrischen Lichts im luftverdünnten Raume. Während sonst die Elektricität durch den Widerstand, welchen die schlecht leitende Luft ihrer Verbreitung entgegensetzt, an der Oberfläche der Körper zurückgehalten wird, durchdringt sie den luftverdünnten Raum wie einen guter Leiter. Hat man daher einen gläsernen Ballon, in dessen innern Raum von unten und oben her zwei Metalldrähte geleitet sind, die in ziemlichem Abstande von einander in kleinen Kugeln enden, möglichst luftleer gepumpt, und verbindet man dann den einen Draht mit dem positiven, den andern mit dem negativen Conductor einer Elektrisirmaschine, so sieht man im Dunkeln das ganze Innere des Ballons von elektrischem Lichte erfüllt. Läßt man wieder etwas Luft einströmen, so bilden sich purpurfarbene Lichtbogen zwischen beiden Drähten. Je mehr Luft eindringt, desto mehr nimmt die Ausdehnung der Lichterscheinung ab, die dann endlich in die Form des gewöhnlichen Funkens übergeht. Füllt man den Ballon mit andern Gasen, und erwählt man zu Leitungsdrähten andere Metalle, so kann man sich leicht überzeugen, daß die Farbe des elektrischen Funkens sowohl von der Natur der Metalle, zwischen denen er überspringt, als von der des Gases abhängt, welches den Zwischenraum ausfüllt. In der gewöhnlichen Luft ist der Funke etwas bläulich, in Wasserstoff röthlich, in Kohlensäure grünlich.

Besonderes Interesse gewährt den Laien gewöhnlich die Eigenschaft des elektrischen Funkens, leicht brennbare Körper, z. B. eine noch glimmende Kerze, Aether oder erwärmten Weingeist, zu entzünden. Auch darauf beruhen manche Spielereien, wie das Donnerhaus und die elektrische Pistole. Letztere besteht aus einem kleinen Blechgefäße, das mit Knallgas, der bekannten Mischung von atmosphärischer Luft und Wasserstoffgas, gefüllt und durch einen Kork verschlossen ist. In einer Seitenwand des Gefäßes ist ein durch eine kleine Glasröhre isolirter Messingdraht eingekittet, der nach innen in eine kleine Kugel endet, die etwa $1—\frac{1}{2}$ Linie von der Blechwand absteht. Setzt man diesen Draht mit dem Conductor einer Elektrisirmaschine in Verbindung, so entzündet der überspringende Funke das Gasgemisch, und die Explosion schleudert den das Gefäß verschließenden Kork mit lautem *Knalle fört.* Dieses interessante Spielzeug hat in neuester Zeit eine

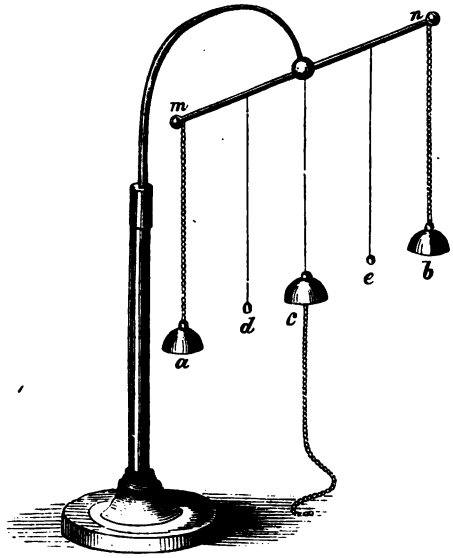
praktische Bedeutung erhalten durch die Lenoir'sche Gasmaschine. Die Triebkraft derselben ist in der That nichts Anderes, als die durch den elektrischen Funken bewirkte Explosion eines solchen Gasgemisches. Ein Strom von Wasserstoffgas tritt durch eine kleine Oeffnung in den Cylinder ein, in welchem sich der Kolben der Maschine befindet, und vermischt sich hier mit der atmosphärischen Luft. Ein elektrischer Funke entzündet das Gasgemisch, und die nun erfolgende Explosion treibt den Kolben vorwärts gegen das Ende des Cylinders. Hier aber wiederholt sich nun derselbe Vorgang, der Cylinder bewegt sich rückwärts, und so ist die Maschine in Thätigkeit.

Schon die entzündende Eigenschaft des elektrischen Funkens könnte darauf hindeuten, daß auch chemische Wirkungen durch die Elektricität veranlaßt werden. Freilich könnte der chemische Proceß der Verbrennung aus der Wärme erklärt werden, welche der elektrische Funke erzeugt. Aber es giebt eine sehr verbreitete Erscheinung, welche diese Erklärung nicht zuläßt, und die längst bekannt war, aber nur als eigenthümlicher Geruch, den man nicht zu erklären vermochte. In der Nähe einer thätigen Elektrisirmaschine, besonders aber, wenn man die Elektricität durch eine Spitze ausströmen läßt, bemerkt man nämlich stets einen Geruch, der etwa dem des Phosphors oder der schwefligen Säure ähnlich ist. Als die Ursache dieses Geruches hat Schönbein das Ozon nachgewiesen, in welches der Sauerstoff der atmosphärischen Luft durch die Elektricität umgewandelt wird. Mit der Wirksamkeit dieses Ozons hängt noch eine andere Erscheinung zusammen. Wenn man ein mit Jodkaliumkleister bestrichenes Blatt Papier auf eine Metallplatte klebt und dann einer am Conductor einer Elektrisirmaschine befindlichen Spitze gegenüberhält, so wird dasselbe sehr schnell blau gefärbt, weil das Jodkalium durch die Einwirkung des sich bildenden Ozons zersetzt wird und das Jod sich nun mit der Stärke zu der bekannten schön blaugefärbten Substanz verbindet. Auch die atmosphärische Elektricität erzeugt beständig Ozon in der Luft, und nach heftigen Gewittern riecht man dasselbe bisweilen sehr deutlich. Man hat daher auch mit Jodkaliumkleister bestrichene Papierstreifen benutzt, um an ihrer mehr oder minder tiefen Bläuung den Ozongehalt der Luft zu messen.

Diejenigen Erscheinungen, welche bei Versuchen mit der Elektrisirmaschine namentlich in älterer Zeit am meisten zu Spielereien benutzt wurden, sind die der elektrischen Anziehung und Abstoßung. Wird ein an einem seidenen Faden aufgehängtes Korkkügelchen mit dem Conductor der Maschine in Berührung gebracht, so wird es von dem po-

sitiven Conductor abgestoßen, von dem negativen angezogen. Werden mehrere Kügelchen mit der gleichen Elektricität geladen, so stoßen sie einander ab. Von dieser gegenseitigen Abstoßung kann man sich überzeugen, wenn man ein Messingstäbchen auf den Conductor aufsteckt, der oben ein Messingscheibchen trägt, von dessen Rande zahlreiche lange Streifchen von leichtem Papiere herabhängen. Sobald man die Maschine dreht, gehen die Streifchen wie ein Schirm nach allen Seiten aus einander. Es ist dieselbe Erscheinung, die man in dem Schwellen einer Flaumfeder beobachtet, die mit dem Conductor in Verbindung gebracht wird. Auch daß Wasser, welches durch eine enge Röhre ausfließt, sich in einen feinen Regen auflöst, sobald diese Röhre in leitender Verbindung mit dem Conductor steht, beruht nur auf der gegenseitigen Abstoßung der mit gleicher Elektricität geladenen Wassertheilchen. Ebenso ist in den Spielereien des elektrischen Puppentanzes und des elektrischen Glockenspiels die wechselnde Anziehung und Abstoßung entgegengesetzter und gleicher Elektricitäten benutzt. Der Puppentanz stellt sich am amüsantesten dar, wenn man in einen Glascylinder, der oben und unten mit einem mit Stanniol überzogenen Deckel von Pappe verschlossen ist, leichte Korkkügelchen oder Püppchen von Hollundermark bringt. Verbindet man dann durch eine Leitung den oberen Deckel mit dem Conductor der Elektrisirmaschine, den untern mit dem Boden, so beginnen sofort die Kügelchen oder Püppchen ihren lebhaften Tanz. Das elektrische Glockenspiel besteht aus drei Glöckchen a. b. c. (Fig. 121), welche an einem messingenen Stabe mn, der von einer isolirenden Glassäule ge-

Fig. 121.



tragen wird, aufgehängt sind, und zwar die mittlere c vermittelst eines seidenes Fadens, die beiden andern a und b vermittelst eines metallenen Kettchens. Das mittlere Glöckchen ist zugleich durch ein metallenes Kettchen mit dem Fußboden in Verbindung gesetzt. Zwischen den Glöckchen hängen an seidenen Fäden zwei Metallkügelchen d und e. Wenn nun der Messingstab m n mit dem Conductor einer thätigen Elektrisirmaschine in leitende Verbindung gesetzt wird, so werden die Kügelchen d und e von den Glöckchen a und b angezogen, nachdem sie aber in der Berührung sich mit gleichnamiger Elektricität geladen, wieder abgestoßen und nun von dem Glöckchen c angezogen. Nachdem dann die Kügelchen an dieses in der Berührung ihre Elektricität wieder abgegeben haben, werden sie auf's Neue von den Glöckchen a und b angezogen, und durch dieses beständige Hin- und Herschwingen der Kügelchen zwischen den Glöckchen entsteht nun das andauernde Läuten der letzteren.

Auch durch die aus Spitzen ausströmende Elektricität können Bewegungen veranlaßt werden, die man gleichfalls zu elektrischen Spielereien benutzt hat. Schon wenn man einer auf den Conductor einer Elektrisirmaschine aufgesetzten Metallspitze die Hand nähert, während die Maschine gedreht wird, empfindet man deutlich einen von der Spitze ausströmenden Wind. Noch sichtlicher kann man diesen Wind machen, wenn man eine Kerzenflamme der Spitze nähert. Offenbar entsteht dieser elektrische Wind dadurch, daß ein Theil der elektrischen Ladung auf die benachbarten Lufttheilchen übergeht, die nun von der gleichnamig geladenen Spitze lebhaft abgestoßen werden. Wenn nun eine solche elektrische Spitze selbst beweglich ist, so muß sie sich, vermöge der zwischen ihr und den abfließenden Lufttheilchen stattfindenden Abstoßung, selbst bewegen, und zwar in einer dem elektrischen Winde entgegengesetzten Richtung. Darauf beruht nun das sogenannte elektrische Flugrad, dessen Drehung genau der des Segner'schen Wasserrades entspricht. Es ist ein aus Metalldrähten gebildetes Rädchen, dessen zugespitzte Enden sämmtlich nach derselben Richtung umgebogen sind, und das, in horizontaler Ebene drehbar, auf einer Stahlspitze schwebt, die mit dem Conductor der Elektrisirmaschine in leitender Verbindung steht. Sobald die Maschine gedreht wird, beginnt das Flugrad gegen die Richtung der Spitzen hin zu rotiren.

Bei allen diesen Versuchen zeigen die beiden Arten der Elektricität im Wesentlichen die gleichen Erscheinungen. Manche Verschiedenheiten, z. B. beim Ausströmen aus Spitzen, beruhen größtentheils

auf Täuschungen, da fremde, leicht zu übersehende Einflüsse dabei mitwirken. Ganz besonders ist es die Luft, und namentlich der Wasserdampf derselben, wodurch mannigfache Abänderungen der Erscheinungen bedingt werden, und es tritt daher vielfach der Fall ein, daß vermeinte Verschiedenheiten in der Aeußerung beider Elektricitäten verschwinden, sobald man die Versuche im luftleeren Raume anstellt. So hat man noch bis vor Kurzem ganz allgemein die sogenannten Lichtenbergschen Figuren für einen charakteristischen Unterschied der beiden Elektricitäten angesehen. Wenn man nämlich eine Scheibe von Pech oder Schellack mit dem positiven Conductor einer Elektrisirmaschine berührt und alsdann Bärlappsamen, Mennige oder Schwefelblumen darauf streut, so entsteht eine eigenthümliche Staubfigur, welche durch dendritisch sich verästelnde Strahlen gebildet wird, die von dem berührten Punkte ausgehen. Hat man aber den Harzkuchen mit dem negativen Conductor berührt, so bildet sich diese Strahlenfigur nicht, sondern es entstehen nur rundliche Flecken, deren Ausdehnung bei weitem geringer ist, als die der positiven Strahlenfigur. Die Bildung dieser Staubfiguren erklärt sich aber einfach daraus, daß die vom Conductor ausgehende Elektricität zunächst die auf der Oberfläche der Harzscheibe verdichtete Atmosphäre von Luft und Wasserdampf zerreißen und über die Harzfläche hintreiben muß, die nun, wie vielfache Versuche gezeigt haben, durch die Reibung mit dem Wasserdampfe negativ elektrisch wird. War nun die wirkende Elektricität positiv, so kann sie sich über die gleichsam negativ präparirte Fläche weithin dendritisch verbreiten, während eine solche Ausbreitung negativer Elektricität auf der negativen Fläche nicht möglich ist.

Verbreitung der Elektricität.

Die Elektrisirmaschine und die damit angestellten Versuche haben den ersten Einblick in die allgemeinen Gesetze gewährt, welchen die elektrischen Erscheinungen unterworfen sind. Daß diese Gesetze vielfach von den auf andern Gebieten der Natur herrschenden abweichen, lehrt besonders die Verbreitung der elektrischen Kraft. Sie erstreckt sich keineswegs, etwa wie die der Wärme, gleichmäßig auf das ganze Innere der Körper, sondern vorzugsweise und fast ausschließlich, wenigstens bei guten Leitern, auf die Oberfläche. Man kann sich davon sehr leicht durch einen Versuch überzeugen, den Faraday in sehr sinnreicher Weise angegeben hat. Es bedarf dazu eines kleinen Sackes von Baum-

wollenzeug, ähnlich einem Schmetterlingsnetze, der an einem Metallringe befestigt ist, welcher auf einen isolirenden Glasfuß aufgesteckt ist. Dieser Beutel kann vermittelst eines seidenen Fadens, der in seinem Grunde festgenäht ist, umgewandt werden. Theilt man diesem Apparate eine elektrische Ladung mit, so findet man bei Annäherung von Korkkügelchen oder sogenannten Probescheibchen, d. h. Blättchen von Rauschgold, die mit Schellack an einen Glasstab gekittet sind, daß nur die äußere Fläche desselben elektrisch ist. Wendet man den Beutel mittelst des Seidenfadens um, so daß die bisher nach innen gekehrte Fläche die äußere wird, so findet man, daß die beiden Oberflächen auch ihre elektrische Ladung vertauscht haben, daß wieder nur die äußere Fläche des Beutels elektrisch ist. Daraus erklärt sich auch, daß man nur hohle Conductoren anzuwenden pflegt, da solche dieselben elektrischen Erscheinungen darbieten müssen, wie massive.

Verständlich wird diese Verbreitung der Elektricität erst, wenn man annimmt, daß die elektrische Kraft das Bestreben hat, sich nach allen Richtungen in die möglichste Ferne zu verbreiten, und darin nur durch Widerstände, d. h. nichtleitende oder schlechtleitende Körper, aufgehalten wird. So lange ein Körper sich im natürlichen Zustande befindet, so lange also gleichsam die beiden elektrischen Fluida noch verbunden sind, ist auch die Elektricität wahrscheinlich ganz gleichmäßig durch die ganze Masse des Körpers vertheilt. Sobald aber einem isolirten Leiter freie Elektricität mitgetheilt wird, streben die einzelnen elektrischen Theilchen vermöge ihrer gegenseitigen Abstoßung, sich so weit als möglich von einander zu entfernen. Sie fliehen darum an die Oberfläche des Körpers, treffen aber hier auf die schlecht leitende Luft oder andere isolirende Umgebungen und werden dadurch verhindert, weiter auseinander zu weichen. Daß sich dies so verhält, beweist die schöne Lichterscheinung im luftverdünnten Raume. Hier haftet die Elektricität nicht an der Oberfläche des elektrisirten Leiters, sondern erfüllt, mit Leichtigkeit die verdünnte Luft durchdringend, den ganzen Raum.

Dauernd kann nach diesem Gesetze der Vertheilung die Elektricität an der Oberfläche eines elektrischen Leiters nur haften, wenn er vollkommen isolirt ist. Da es aber vollkommen isolirende Körper nicht giebt, so muß jeder elektrische Leiter allmälig seine Elektricität verlieren. Die meisten Verluste werden durch die Luft bewirkt, namentlich durch den darin enthaltenen Wasserdampf. Schon ein Hauch des Mundes reicht hin, eine elektrische Glasröhre aller Elektricität zu berauben. Die Verluste nehmen selbstverständlich zu mit der Feuchtigkeit der Luft.

Vollkommen isolirt aber selbst die trockenste Luft nicht. Isolirende Glasstäbe oder Seidenfäden tragen auch dazu bei, die Elektricität einem isolirten Leiter zu entziehen, da sie die Eigenschaft besitzen, sich mit einer dünnen Feuchtigkeitsschicht zu überziehen. Man pflegt darum Glasflächen, die gut isoliren sollen, einen dünnen Ueberzug von Schellackfirniß zu geben.

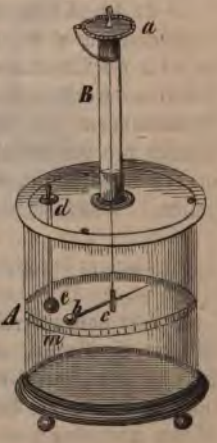
Eine isolirte Kugel verliert ihre Elektricität gleichmäßig, wie sich gleichmäßig auf ihrer ganzen Oberfläche die Elektricität verbreiten muß. Anders ist es mit nicht kugelförmigen, etwa cylindrischen Leitern. Hier müssen die einander abstoßenden Elektricitäten an die äußersten Enden fliehen und sich hier stärker anhäufen, als in der Mitte. Endet vollends ein solcher isolirter Leiter in einer Spitze, so findet an dieser die stärkste Anhäufung der Elektricität statt. Der Widerstand der isolirenden Luft wird daher hier auch am leichtesten überwunden, und so erfolgt jenes lebhafte Ausströmen der Elektricität in leuchtenden Büscheln. Winkel und scharfe Ecken wirken ganz ähnlich wie Spitzen, und man muß daher sorgfältig alle eckigen Formen an Apparaten vermeiden, die dazu dienen sollen, die Elektricität zu halten. Auch Flammen wirken wie Spitzen wegen der in denselben aufsteigenden Ströme leitender Dämpfe, und man kann einen elektrisirten Körper fast augenblicklich seiner Elektricität berauben, wenn man ihn nahe über eine Flamme hinführt.

Die Menge der in einem isolirten Leiter angehäuften Elektricität läßt sich nicht wie die wägbarer Stoffe durch das Gewicht bestimmen, da das Gewicht eines Körpers weder durch Mittheilung von Elektricität vermehrt, noch durch Entziehung derselben vermindert wird. Man kann darum nur aus den Wirkungen der Anziehung oder Abstoßung auf die Elektricitätsmenge schließen. Die Größe dieser anziehenden oder abstoßenden Kraft ist nämlich einmal abhängig von der Dichtigkeit oder Spannung der Elektricität, d. h. von dem Verhältniß der Oberflächen, über welche die gleiche Elektricitätsmenge vertheilt ist. Verbreitet sich dieselbe Elektricitätsmenge über eine doppelt so große Oberfläche, so ist ihre Dichtigkeit nur halb so groß, und dem entsprechend nimmt auch ihre abstoßende Wirkung ab. Zeigt ein elektrischer Körper bei unveränderter Oberfläche eine doppelt so große Abstoßung, so besitzt seine Elektricität auch die doppelte Dichtigkeit. Die abstoßende und anziehende Kraft hängt aber auch andererseits von der Entfernung ab, und zwar steht sie, ganz in Uebereinstimmung mit dem allgemeinen *Naturgesetze*, dem die Schwere, das Licht, die Wärme unterworfen sind,

im umgekehrten Verhältniß zum Quadrate der Entfernung. Die Abstoßung wächst in der halben Entfernung um das 4fache, in $^1/_3$ der Entfernung um das 9fache. Die anziehende oder abstoßende Kraft eines elektrischen Körpers nimmt daher mit der Entfernung außerordentlich schnell ab, und man kann seine Wirkungen darum auch immer nur in einem beschränkten Umkreise wahrnehmen, den man den elektrischen Wirkungskreis oder die elektrische Atmosphäre des Körpers nennt.

Zur Messung dieser anziehenden oder abstoßenden Kraft der Elektricität bedient man sich gewöhnlich der Coulomb'schen Drehwage. Dieselbe beruht auf der Eigenschaft eines Metallfadens, wenn er durch ein angehängtes Gewicht in verticaler Richtung gespannt ist, eine bestimmte Gleichgewichtslage anzunehmen, wenn er aber durch Drehung aus dieser Gleichgewichtslage herausgebracht ist, seiner ganzen Länge nach eine sogenannte Torsion oder Windung zu erleiden, in Folge deren er das Bestreben hat, das Gewicht wieder in seine Gleichgewichtslage zurückzuführen. Coulomb fand, daß die Kraft, mit welcher der Faden in die Gleichgewichtslage zurückzukehren strebt, der Größe der Torsion proportional ist, und auf dieses Gesetz gründet er seine Vorrichtung zur Messung der elektrischen Abstoßungen. Die Drehwage (Fig. 122) besteht zunächst aus einem weiten gläsernen Cylinder (A), dessen oberer gleichfalls gut isolirender Deckel durchbohrt ist und darüber einen engen gläsernen Cylinder (B) trägt. Durch diese beiden Cylinder hängt ein feiner Metallfaden herab, der oben an einer drehbaren, an ihrem Umfange mit einer Theilung versehenen Kreisscheibe (a) befestigt ist, an seinem unteren Ende aber ein metallenes Stäbchen (c) und an diesem eine horizontalschwebende dünne Schellacknadel trägt. An einem Ende dieser Nadel befindet sich ein kleines Kügelchen (b) von Hollundermark, welche über einem in Grade getheilten Kreise (m) spielt. Dreht man daher die obere kleine Scheibe (a) um eine gewisse Anzahl von Graden, so muß auch die Schellacknadel ebenso viele Grade am untern Kreise durchlaufen. Nun befindet sich aber in dem Deckel des weiten Cylinders genau über dem Nullpunkte des untern Thei-

Fig. 122.



lungskreises eine zweite Oeffnung (d), durch welche ein ebenfalls an einem Schellackfaden befestigtes Korkkügelchen (e) herabgesenkt werden kann. Wird diesem Kügelchen Elektricität mitgetheilt und es dann durch die Oeffnung d eingesenkt, so muß es das gleichfalls auf den Nullpunkt gerichtete Kügelchen der horizontalen Schellackstange berühren und dadurch gleichnamig elektrisch machen. Es erfolgt also eine Abstoßung, die das Kügelchen um einen gewissen Winkel forttreibt und ebenso den Metallfaden dreht. Durch eine Drehung des oberen Scheibchens (a) kann man es nun versuchen, diese abstoßende Kraft zu überwinden, und die Kügelchen etwa bis zur Hälfte ihres bisherigen Abstandes einander wieder nähern. Diese Drehung wird aber eine sehr beträchtliche, und die Torsion, welche der Metallfaden dabei erleidet, sogar eine 4mal so große sein müssen, als die vorher durch die elektrische Abstoßung bewirkte Torsion desselben. Gesetzt, der Ablenkungswinkel hätte 30° betragen, und man wollte die Kugeln bis auf 15° einander nähern, so würde man das obere Scheibchen um 105° drehen müssen, und die ganze Drehung des Metallfadens würde dann 120° betragen. Während sich also die Abstände wie 2 . . 1 verhalten, stehen die Torsionen und damit auch die überwundenen Abstoßungskräfte in dem Verhältniß wie 1 . . 4. Die Torsionen und die dadurch gemessenen Abstoßungen verhalten sich also in der That, wie das erwähnte Gesetz angiebt, umgekehrt wie die Quadrate der Entfernungen.

Es leuchtet ein, daß man die Drehwage auch zu andern Zwecken benutzen kann, z. B. um die ungleichförmige Vertheilung der Elektricität über die Oberfläche eines Leiters zu prüfen. Man hat dann nur das kleine Korkkügelchen oder ein an einem Schellackfaden befestigtes Goldblättchen (ein Probescheibchen) nach einander an verschiedenen Stellen des Leiters mit Elektricität zu laden und es dann jedesmal in den Apparat einzuführen, um die Größe der Abstoßung zu beobachten.

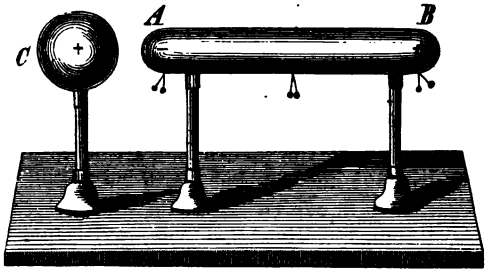
Die elektrische Vertheilung und der Elektrophor.

Wir haben bereits gezeigt, daß die Elektricität sowohl bei unmittelbarer Berührung, als auch auf gewisse Entfernungen hin von einem Körper zum andern übergehen kann. Natürlich hängt diese Mittheilung theils von der Leitungsfähigkeit, theils von der Größe der Oberflächen der Körper ab. Um einem isolirten Leiter seine Elektricität *ganz zu entziehen*, muß man ihn mit einem andern in Berührung brin-

gen, deſſen Oberfläche unverhältnißmäßig größer iſt. Deshalb leitet man auch die Elektricität des negativen Conductors einer Elektriſirmaſchine in den Fußboden ab, durch welchen ſie ſich über die ungeheuere Fläche des ganzen Erdbodens vertheilt und ſich darum ſpurlos verliert.

Daß ein Körper auch elektriſche Erſcheinungen zeigen kann, wenn er in die Nähe eines elektriſirten Körpers gebracht wird, ohne daß ein wirklicher Uebergang von Elektricität zwiſchen beiden Körpern ſtattfindet, hatte man bereits vor der Mitte des vorigen Jahrhunderts längſt gewußt. Man meinte aber damals, daß ein elektriſirter Körper von elektriſcher Materie, gleichſam einer elektriſchen Atmoſphäre, umgeben ſei, die ſich jedem in dieſelbe eintauchenden Körper mittheile. Da entdeckten ein ſchwediſcher und ein deutſcher Phyſiker, Wilke und Arpinus, daß ein ſolcher in die Nähe eines elektriſirten Körpers gebrachter Leiter am genäherten Ende keineswegs die gleichnamige, ſondern die entgegengeſetzte Elektricität erhält. Man kann ſich davon ſehr leicht überzeugen, wenn man einem länglichen iſolirten Leiter (A B Fig. 123) an verſchiedenen Stellen Korkkügelchen anhängt und dann dem einen

Fig. 123.



Ende desſelben einen poſitiv elektriſirten Conductor (C) in einem ſolchen Abſtande gegenüberhält, daß ein unmittelbarer Uebergang der Elektricität nicht möglich iſt. Man wird dann die an den Enden angebrachten Korkkügelchen aus einander gehen ſehen, und zwar die am genäherten Ende A mit negativer, die am entgegengeſetzten Ende B mit poſitiver Elektricität, während in der Mitte die Korkkügelchen ganz in Ruhe bleiben. Entfernt man den elektriſirten Conductor C, ſo fallen die Korkkügelchen ſämmtlich wieder zuſammen, und jener Leiter be-

dann genau dieselbe Elektricitätsmenge wie vorher, kann also dem isolirten Leiter keine Elektricität mitgetheilt haben. Berührt man aber vorher, während der Leiter noch seine Elektricität besitzt, das von dem Conductor abgewandte Ende desselben mit dem Finger und entzieht ihm dadurch seine positive Elektricität, so zeigt sich derselbe auch nach der Entfernung des Conductors elektrisch, aber negativ. Der Conductor hat dann in der That auch gerade so viel Elektricität verloren, als der isolirte Leiter jetzt besitzt, und man könnte an eine Mittheilung denken, wenn nicht die Elektricität des Leiters gerade die entgegengesetzte des Conductors wäre.

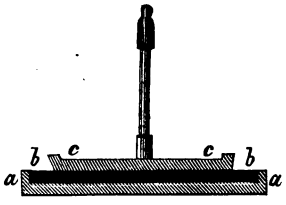
Solchen Thatsachen gegenüber ist die alte Annahme von einer elektrischen Atmosphäre der Körper und von einer ausschließlich auf dem Wege der Mittheilung erfolgenden Elektrisirung nicht mehr zu halten. Man muß vielmehr die Erklärung dieser Erscheinungen in einer Vertheilung der ursprünglich in den Körpern verbundenen Elektricitäten suchen.

Jeder Körper besitzt nämlich beide Elektricitäten, die einander, so lange er sich in seinem natürlichen, unelektrischen Zustande befindet, das Gleichgewicht halten oder durch einander gebunden sind. Hat aber in einem elektrisirten Körper eine dieser entgegengesetzten Elektricitäten das Uebergewicht, so vermag diese, die man zum Unterschiede von der gebundenen die freie nennt, auch in jedem andern Körper, der in den Wirkungskreis des elektrisirten Körpers kommt, das elektrische Gleichgewicht zu stören, indem sie die gleichnamige Elektricität abstößt, die ungleichnamige anzieht. Der Körper wird dann durch Vertheilung elektrisirt. Nähert man eine isolirte, mit Elektricität geladene Kugel einer andern gleichfalls isolirten und durch Vertheilung elektrisch gewordenen Kugel so weit, daß die Anziehung der entgegengesetzten Elektricitäten den Leitungswiderstand der beide trennenden Luftschicht zu überwinden vermag, so vereinigt sich ein Theil der positiven Elektricität der einen Kugel mit der angezogenen negativen der andern in einem überspringenden Funken. So entsteht überhaupt jeder elektrische Funke durch die Vereinigung der beiden entgegengesetzten Elektricitäten, indem sie einander aufheben. Aber nicht blos der Funke, auch jede elektrische Anziehung überhaupt kann nur zwischen entgegengesetzten Elektricitäten stattfinden. Auch das Korkkügelchen, das an einem seidenen Faden hängend in den Wirkungskreis eines elektrisirten Körpers gebracht wird, wird zunächst durch Vertheilung elektrisirt, und nur indem *sich die angezogene* entgegengesetzte Elektricität in der näheren Hälfte

ansammelt, erhält es selbst das Streben, sich dem elektrisirten Körper zu nähern.

Auf diesen Gesetzen der elektrischen Vertheilung beruht nun die Einrichtung des von Wilke im Jahre 1762 erfundenen, aber erst durch Volta 1775 bekannt gewordenen Elektrophors. Derselbe besteht aus einem Harzkuchen b (Fig. 124), einer Mischung von Colophonium mit Schellack und Terpentin, die in eine metallene Form (a) gegossen ist oder auf ein mit Stanniol überzogenes Brett frei aufgelegt wird. Neuerdings bedient man sich auch sehr zweckmäßig statt des Harzkuchens einer Platte von vulkanisirtem Kautschuk. Auf diesen Harzkuchen, dessen Oberfläche durch Schlagen mit einem Fuchsschwanze oder Katzenpelze negativ elektrisch gemacht worden ist, setzt man einen mit einer Handhabe versehenen oder an drei seidenen Schnüren hängenden Metalldeckel (c) frei auf. Die negative Elektricität des Harzkuchens wirkt nun vertheilend auf die noch verbundenen Elektricitäten des Deckels; die positive Elektricität wird angezogen, die negative abgestoßen, und letztere häuft sich daher im oberen Theile des Deckels. Nähert man dem Deckel einen Finger, so springt ein Funke über; berührt man ihn mit dem Finger, so wird alle negative Elektricität abgeleitet, und man empfindet einen schwachen Schlag. Der Deckel enthält nur noch positive Elektricität, die aber durch die negative des Harzkuchens gebunden ist, so lange der Deckel auf diesem liegt. Hebt man aber den Deckel ab, so wird seine positive Elektricität frei, und man kann ihm nun abermals einen Funken entziehen. Berührt man gleichzeitig mit einem Finger den auf den Harzkuchen aufgesetzten Deckel, mit einem andern die metallene Form, so erhält man einen weit heftigeren Schlag, als wenn man nur den Deckel berührt hätte, weil jetzt die negative Elektricität des Deckels und die frei werdende positive der Form zu einander übergehen. Hätte man den Harzkuchen statt auf die metallene Form auf eine isolirende Glasplatte gelegt, so würde man allerdings auch die elektrischen Erscheinungen erhalten, aber in weit schwächerem Grade. Durch das Schlagen mit dem Pelze kann nämlich in diesem Falle nur bis zu einer gewissen Grenze freier Ladung des Kuchens Elektricität entwickelt werden; darüber hinaus würde jede neu entwickelte Elektricität des Kuchens sich mit der entgegengesetzten des

Fig. 124.



Pelzes vereinigen. Wenn aber der Harzkuchen auf einer leitenden Unterlage liegt, so wirkt die freie Elektricität des Kuchens vertheilend auf die Elektricität der Form; die positive Elektricität der letzteren zieht die negative des Kuchens an und trägt dazu bei, dieselbe auf dem Kuchen zu binden.

Da die Elektricität des Deckels so lange immer wieder hervorgerufen werden kann, als die Vertheilnng im Harzkuchen fortdauert, so ist ein Elektrophor oft Monate lang brauchbar, ohne von Neuem mit dem Pelze geschlagen werden zu müssen. Man hat ihn daher auch eine Zeitlang zur Herstellung eines elektrischen Feuerzeugs benutzt, indem man durch die Funken desselben Wasserstoffgas entzünden ließ.

Die elektrische Flasche.

So sehr auch die in rascher Folge einander drängenden Entdeckungen auf dem Gebiete der elektrischen Erscheinungen im vorigen Jahrhundert die Aufmerksamkeit erregen mußten, so hat doch lange Zeit nichts die wissenschaftliche Welt in so großes Staunen versetzt, als die Entdeckung eines Mittels zu einer bis dahin nie geahnten Verstärkung der Elektricität. Welchen Eindruck diese Entdeckung machte, beweisen die übertriebenen und fast an's Lächerliche streifenden Schilderungen, welche die Entdecker von ihren Erfahrungen machten.

Der Erste, der die verstärkte Elektricität an sich selbst kennen lernte und auch das Verfahren zu ihrer Erzeugung näher beschrieb, ist der Domherr von Kleist zu Camin in Pommern, der in einem Briefe an Dr. Lieberkühn in Berlin am 4. November und in einem andern an Prof. Krüger in Halle am 28. November 1745 über seine kurz zuvor gemachten Erfahrungen berichtete. „Wenn ein Nagel oder starker messingener Draht", so heißt es darin, „in ein kleines Arzneiglas gesteckt und elektrisirt wird, so erfolgen besonders starke Wirkungen. Das Gläschen muß recht trocken oder warm sein; auch kann man es vorher mit Kreide reiben. Thut man ein wenig Queckſilber oder Weingeist hinein, so geht Alles noch besser von statten. Sobald das Gläschen von der elektrischen Röhre weggenommen wird, so äußert sich der leuchtende Strahlenbüschel, und man kann mit dieser brennenden Maschine über 60 Schritte weit im Zimmer herumgehen. Wird während dem *Elektrisiren* der Finger oder ein Stück Geld an den Nagel gehalten,

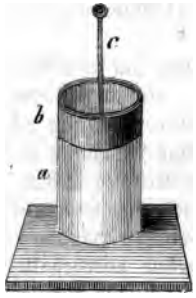
so ist der herausfahrende Schlag so stark, daß Arme und Achseln davon erschüttert werden. Eine isolirte Röhre läßt sich dadurch weit stärker elektrisiren, als unmittelbar durch die Kugel. Wird ein Conductor elektrisirt, der im Gläschen befindliche Nagel daran gehalten und mit Elektrisiren fortgefahren, so sollte man kaum glauben, in welche Stärke die Elektricität gesetzt worden. Ist das Gläschen niedrig, daß sich die Finger in der gehörigen Weite befinden, so schlägt der Funke von selbst aus dem Nagel auf den Finger; zu dünnhalsige Gläser sind einigemal durch den heftigen Schlag zersprengt worden."

Ziemlich gleichzeitig und wahrscheinlich unbekannt mit den Versuchen des pommer'schen Prälaten machte Cunäus, ein angesehener Privatmann zu Leyden, der sich mit Wiederholung einiger Versuche beschäftigte, die er bei den Professoren Musschenbroek und Allamand gesehen hätte, dieselbe Entdeckung. Er erhielt den elektrischen Schlag, als er ein Glas Wasser, das er in der Hand hielt, elektrisirt hatte und den Draht, welcher die Elektricität zuleitete, mit der andern Hand losmachen wollte. Musschenbroek, welcher diesen Versuch wiederholte, schreibt an Réaumur in Paris, daß er durch den Schlag in den Armen, den Schultern und der Brust in der Art betäubt worden sei, daß er auf einige Augenblicke den Athem verloren und sich erst nach zwei Tagen von dem Schlage und dem Schrecke habe wieder erholen können. Nicht um die Krone Frankreichs, setzte er hinzu, möge er sich dieser Erschütterung zum zweiten Male aussetzen. Noch haarsträubender schildert der Professor Winkler in Leipzig die erste Empfindung des elektrischen Schlages. Als er den Leyden'schen Versuch zum ersten Male angestellt, erzählt er, habe er so starke Convulsionen in seinem Körper empfunden, und sei sein Blut so erhitzt worden, daß er ein hitziges Fieber befürchtet und kühlende Arzneien habe gebrauchen müssen.

Die elektrische Flasche, welche aus diesen ersten rohen Versuchen hervorging, und welche in der That noch weit kräftigerer Wirkungen fähig ist, als diese ihrer Neuheit wegen so großen Schrecken verbreitenden, besteht in ihrer gegenwärtigen Form aus einem gläsernen Gefäße, das an seiner inneren und äußeren Fläche bis auf einen oben in der Breite von einigen Zollen freibleibenden Rand mit Stanniol (Zinnfolie) überzogen oder belegt ist. (Fig. 125). Der Rand, welcher die äußere und innere Belegung isolirend trennt, wird gewöhnlich zur besseren Abhaltung der Feuchtigkeit noch mit Siegellack überzogen. Zur inneren Belegung führt ein Draht oder ein Messingstab, welcher

oben in einen Knopf endet. Die Flasche wird mit Elektricität geladen, wenn man die innere Belegung mit dem Conductor einer Elektrisirmaschine, die äußere aber mit dem Erdboden in leitende Verbindung bringt. Man kann sie aber auch durch wiederholte Berührung mit dem Deckel eines Elektrophors laden. Entladen wird die Flasche, wenn man die äußere und innere Belegung mit einander in leitende Verbindung setzt. Eine früher sehr gebräuchliche Abänderung der elektrischen Flasche ist die Franklin'sche Tafel, eine Glasscheibe, die auf beiden Seiten bis auf einen freibleibenden Rand mit Stanniol belegt ist.

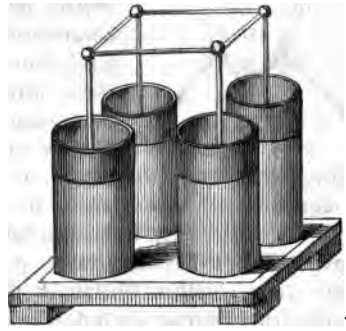
Fig. 125.



Die Erscheinungen, welche eine elektrische Flasche zeigt, beruhen im Wesentlichen auf dem Gesetze der Vertheilung. Bringt man nämlich die äußere Belegung der Flasche mit dem Erdboden, die innere mit dem Conductor einer thätigen Elektrisirmaschine in Verbindung, so wird der inneren Belegung von dem Conductor die gleichnamige Elektricität, z. B. die positive, mitgetheilt. Diese positive Elektricität der inneren Belegung wirkt aber vertheilend auf die noch verbundenen Elektricitäten der äußeren Belegung. Die positive Elektricität wird abgestoßen und entweicht in den Erdboden; die negative Elektricität wird angezogen und wirkt nun wieder anziehend und bindend auf die positive Elektricität der inneren Belegung, so daß diese von Neuem fähig wird, positive Elektricität aus dem Conductor aufzunehmen. Durch dieses beständige gegenseitige Anziehen und Binden der entgegengesetzten Elektricitäten beider Belegungen wird es möglich, daß sich eine so große Menge positiver Elektricität in der inneren, negativer in der äußeren Belegung ansammeln kann. Offenbar ist die Anziehung und Bindung der beiden Elektricitäten um so stärker und vollständiger, je geringer der Abstand beider Belegungen von einander ist. Eine Flasche muß also eine um so stärkere Ladung annehmen, je dünner das beide Belegungen trennende Glas ist. Allerdings hat das seine Grenzen; denn es tritt zuletzt die Gefahr ein, daß die sich anziehenden entgegengesetzten Elektricitäten sich gewaltsam durch das Glas hindurch vereinigen, indem sie es durchbohren und so die Flasche unbrauchbar machen. Die Entladung einer geladenen Flasche besteht natürlich in der Vereinigung der in beiden Belegungen angehäuften entgegengesetzten Elektricitäten und *wird durch einen guten* Leiter bewirkt, der die beiden Belegungen verbindet.

Die auffallendste Erscheinung, welche bei der Entladung eintritt, besteht in der Erschütterung, die man empfindet, wenn man den eigenen Körper als Leiter benutzt, um die angesammelten Elektricitäten zu vereinigen. Dies geschieht aber, wenn man die geladene Flasche mit der einen Hand hält und mit der andern den mit der inneren Belegung in leitender Verbindung stehenden Knopf berührt. Diese Erschütterung kann von mehreren Personen zugleich empfunden werden, wenn diese einander mit den Händen anfassen, und von den beiden äußersten die eine die äußere Belegung, die andere den Knopf der Flasche berührt. Man kann auch den erschütternden Schlag außerordentlich verstärken, wenn man mehrere Flaschen zu einer sogenannten elektrischen Batterie (Figur 126) vereinigt. Sämmtliche Flaschen werden dann auf einem mit Stanniol überzogenen Brette aufgestellt, so daß ihre äußeren Belegungen in leitender Verbindung stehen, während ihre inneren Belegungen durch Drähte unter einander leitend verbunden werden. Die Verstärkung der Wirkung beruht hier auf der vergrößerten Oberfläche, indem die Batterie gleichsam eine einzige große Flasche vorstellt.

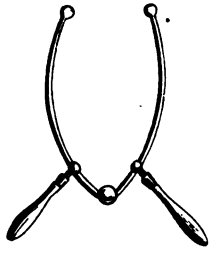
Fig. 126.



Die Erschütterung, welche durch die Entladung einer großen Batterie im menschlichen Körper hervorgerufen wird, kann so stark sein, daß sie nicht nur für die Empfindung höchst unbequem, sondern sogar für Gesundheit und Leben gefährlich werden kann. Wenn daher die Entdecker der Flasche bereits diese Verstärkung ihrer Wirkungen gekannt hätten, so würden bei dem damals herrschenden Glauben, daß der menschliche Körper zum Gelingen solcher Versuche durchaus nothwendig sei, ihre ängstlichen Warnungen nicht so ganz grundlos gewesen sein. Wir wissen aber bereits, daß nicht blos der menschliche Körper, sondern überhaupt jeder gute Leiter geeignet ist, eine Flasche oder Batterie zu entladen. Wir sind daher auch im Stande, die Entladung so zu bewirken, daß unser Körper völlig davon unberührt bleibt.

Dies geschieht durch den sogenannten Auslader (Fig. 127), der gewöhnlich aus zwei starken, durch ein Charnier verbundenen und in zwei Kugeln endenden Drähten besteht, welche mit gläsernen Handgriffen versehen sind, vermittelst deren die Kugeln einander beliebig genähert oder von einander entfernt werden können.

Fig. 127.



Daß mit heftigen elektrischen Schlägen Gefahr für die Gesundheit verbunden ist, geht daraus hervor, daß durch Entladung einer kräftigen Batterie kleine Thiere, selbst Hunde und Katzen getödtet werden. Der französische Abt Nollet war der Erste, der im Jahre 1747 diesen Versuch mit einem Sperling anstellte. Der erste Schlag hatte das Thier nur betäubt, und es hatte sich nach einigen Minuten wieder erholt; ein zweiter Schlag raubte ihm das Leben.

Vermittelst des Ausladers kann man die Wirkung der elektrischen Ladung auf verschiedene Körper, gute oder schlechte Leiter, untersuchen. Eine der wichtigsten Wirkungen ist die Wärmeerzeugung. Gase und Flüssigkeiten werden in Folge dieser Erwärmung ausgedehnt. Leitet man zwei Drähte in einen mit Luft gefüllten Glascylinder, an dessen Seite sich ein communicirendes Röhrchen mit einer gefärbten Flüssigkeit befindet, und setzt dann den einen Draht mit der äußeren, den andern mit der inneren Belegung einer Flasche in Verbindung, so daß zwischen ihren Enden im Cylinder ein Funke überspringt, so wird die Luft darin ausgedehnt und treibt die gefärbte Flüssigkeit in dem communicirenden Röhrchen in die Höhe. Darauf beruht Kinnersley's elektrisches Thermometer. Wasser wird so heftig ausgedehnt, daß die stärksten Glasröhren, wenn sie mit Wasser gefüllt sind, und dann durch zwei hineingeleitete Drähte ein kräftiger elektrischer Schlag geführt wird, mit Heftigkeit zersprengt werden.

Leicht entzündliche Körper können wegen dieser Wärmewirkung durch den elektrischen Schlag entzündet werden. Schießpulver wird in der Regel nur umhergeschleudert. Schaltet man aber zwischen die leitenden Drähte einen feuchten Leiter, etwa ein Stückchen nassen Bindfadens ein, so wird die zündende Kraft des Funkens erhöht, und er entzündet nun das Schießpulver. Durch den feuchten Leiter wird nämlich eine Verzögerung der Entladung bewirkt, und mit der Dauer der Entladung *wächst auch* die Erwärmung.

Dünne metallene Drähte, durch welche der elektrische Schlag geleitet wird, werden glühend oder schmelzen sogar. Ein dünner Eisendraht schleudert sprühend geschmolzene Kügelchen umher. Selbst Platindraht schmilzt. Legt man ein Streifchen Blattgold zwischen zwei Glasplatten, die man zusammenpreßt, und leitet dann den elektrischen Schlag durch das Goldblatt, so wird dasselbe in das Glas eingebrannt.

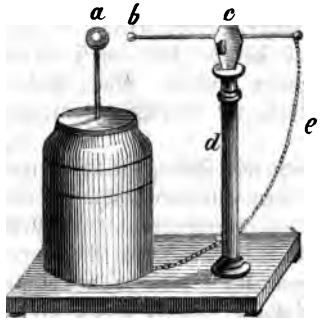
Leitet man den elektrischen Schlag über ein Stück Kreide, so zeigt dieselbe an den Stellen, welche der Funke berührt hat, im Dunkeln einen Lichtschein, welcher mehrere Secunden anhält. Auch Zucker, Gyps, Schwerspath, Flußspath und andere zur Phosphorescenz geneigte Körper zeigen diese Erscheinung.

Schlechte Leiter endlich, durch welche der Schlag geleitet wird, werden durchbohrt oder zerschmettert. Der Entladungsschlag einer kleinen Flasche reicht hin, ein Kartenblatt zu durchbohren; das durch den Schlag hervorgebrachte Loch zeigt dann stets nach beiden Seiten erhabene Ränder, zum Beweise, daß die Spannung und die bei der Rückkehr der Theilchen in den natürlichen Zustand erfolgte Erschütterung da, wo die Entladung begann, am stärksten gewesen ist. Durch den Schlag größerer Flaschen oder Batterien kann man auch hölzerne Brettchen und Glasscheiben durchbohren. Man bedient sich zu diesen Versuchen gewöhnlich des Henley'schen allgemeinen Ausladers, welcher aus zwei messingenen, um ein Charnier beweglichen Armen besteht, die von Glassäulen getragen werden und zwischen ihren kugelförmigen Enden ein kleines Tischchen haben, das sich vermittelst einer Schraube beliebig hoch und niedrig schrauben läßt und bestimmt ist, den Körper zu tragen, durch welchen der Schlag hindurchgeleitet werden soll. Der eine der beiden Arme wird dabei durch eine Kette mit der äußeren Belegung einer Flasche oder Batterie, der andere mit Hülfe eines gewöhnlichen Ausladers mit dem Knopfe der inneren Belegung in Verbindung gesetzt.

Während bei der zündenden Wirkung des elektrischen Schlages vorzugsweise die Menge der in der Flasche angehäuften Elektricität zur Geltung kommt, ist bei der zertrümmernden Wirkung auf schlechte Leiter die Spannung oder Dichtigkeit der Elektricität entscheidend. Um diese Spannung und überhaupt die Stärke der Ladung einer Flasche oder Batterie zu messen, hat der Engländer Lane im Jahre 1770 die sogenannte Maßflasche erfunden. Es ist eine gewöhnliche elektrische Flasche, deren Knopfe a (Fig. 128) aber ein anderer Knopf b gegenübersteht, der das Ende eines Drahtes bildet. Dieser Draht steht ver-

schiebbar in einer Hülse c, die auf einer Glassäule d befestigt ist, und steht an seinem andern Ende durch ein Kettchen e mit der äußeren Belegung der Flasche in leitender Verbindung. Je näher man den Knopf b dem Knopfe a bringen muß, damit die Entladung der Flasche geschieht, desto geringer ist natürlich die Spannkraft oder Dichtigkeit der darin angehäuften Elektricität. Will man nun die elektrische Ladung einer andern Flasche messen, so muß man zunächst diese Flasche isoliren. Dann setzt man die äußere Belegung der Flasche durch einen starken Draht mit dem Knopfe a der Maßflasche, also auch der inneren Belegung derselben, in leitende Verbindung, während die äußere Belegung dieser letzteren mit dem Erdboden leitend verbunden ist. Wird nun die innere Belegung der zu untersuchenden Flasche mit dem Conductor einer Elektrisirmaschine verbunden und diese in Thätigkeit gesetzt, so entflieht die abgestoßene Elektricität der äußeren Belegung in die innere Belegung der Maßflasche und ladet die letztere. Da aber dem Knopfe dieser Maßflasche in geringem Abstande der zweite Knopf b gegenübersteht, so entladet sich die Maßflasche von selbst in wiederholt überspringenden Funken. Mag es nun eine Flasche oder eine ganze Batterie von 20 Flaschen sein, welche ihre Elektricität von dem Conductor empfängt und zugleich die Maßflasche ladet, so ist die Zahl der Entladungen, die zwischen den beiden Knöpfen in einer gewissen Zeit stattfinden, bei demselben Abstande dieser Knöpfe immer dieselbe. Die Zahl dieser Funken entspricht also der Menge der in der geladenen Batterie angehäuften Elektricitäten.

Fig. 128.



Mit Hülfe dieser Maßflasche ist auch nachgewiesen worden, daß die Schlagweite einer Flasche oder Batterie, d. h. der größte Abstand, in welchem noch eine Entladung stattfindet, genau der Spannung oder Dichtigkeit der in der inneren Belegung angehäuften Elektricität proportional ist, daß sie aber völlig unabhängig ist von der Natur des sogenannten Schließungsbogens, durch welchen die Entladung erfolgt. Nur die Form, welche die Enden des Schließungsbogens haben, *zwischen denen* die Entladung stattfindet, ist von Einfluß. Bei einer

Scheibe ist die Schlagweite größer, als bei einer Kugel von gleicher Oberfläche. Uebrigens ist der Funke, welcher bei der Entladung einer Flasche oder Batterie erscheint, keineswegs ein einziger, sondern vielmehr eine Reihe vieler momentaner Funken, und die vollständige Entladung geschieht also auch nicht auf einmal, sondern ist aus mehreren schnell auf einander folgenden Entladungen zusammengesetzt. Deshalb war es ja auch möglich, durch Einschaltung feuchter Leiter die Entladung, d. h. die Aufeianderfolge der einzelnen Entladungen zu verzögern.

Endlich erfolgt die Entladung einer Flasche oder Batterie auch niemals ganz vollständig. Hebt man nämlich nach stattgehabter Entladung die leitende Verbindung zwischen innerer und äußerer Belegung wieder auf, so erhält man, wenn man nach einiger Zeit die Verbindung wieder herstellt, noch eine zweite, freilich viel schwächere Entladung, und wenn man dasselbe Verfahren wiederholt, vielleicht noch eine dritte und vierte. Dieses sogenannte elektrische Residuum erklärt sich wohl dadurch, daß auch in dem beide Belegungen trennenden Glase eine elektrische Vertheilung stattfindet, und daß nun die entgegengesetzten Elektricitäten der beiden Seiten des Glases anziehend auf die ungleichnamigen Elektricitäten der Belegungen einwirken und so einen Theil derselben festhalten und an der Ausgleichung verhindern. Wenn dann nach erfolgter Entladung das elektrische Gleichgewicht in dem Glase sich allmälig wiederhergestellt hat, so werden natürlich auch die gebundenen Elektricitäten der Belegung wieder frei und können so die zweite Entladung bewirken.

Elektroskope und Condensator.

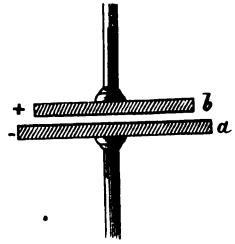
Um die Elektricität eines Körpers zu prüfen und namentlich kleine Mengen derselben nachzuweisen, hat man besondere Vorrichtungen ersonnen, die man Elektrometer, richtiger Elektroskope nennt. Das einfachste Elektroskop wird durch zwei an Fäden aufgehängte Kügelchen von Kork oder Hollundermark gebildet, die einander abstoßen, wenn sie mit einem elektrischen Körper in Berührung kommen. Weit empfindlicher aber ist das Bennet'sche Goldblattelektroskop (Fig. 129), welches aus zwei feinen Streifen Blattgold (a) besteht, die zum Schutze gegen Luftzug und Feuchtigkeit innerhalb eines Glasgefäßes an ein metallenes Stäbchen angehängt sind, welches oben in eine Kugel (b) oder eine Platte endet. Bringt man irgend einen elektrischen Körper mit dem Knopfe dieses Elektroskops in Berührung, so

stoßen sich die Goldblättchen ab und fahren aus einander. Nähert man dann eine geriebene Siegellackstange dem Knopfe, so fallen die Goldblättchen entweder zusammen, oder gehen noch weiter aus einander und beweisen damit, daß die Elektricität jenes Körpers, der zuerst dem Knopfe des Elektroskops genähert war, im ersteren Falle positiv, im letzteren negativ war. Volta hatte statt der Goldblättchen zwei feine Strohhalmstreifchen in Anwendung gebracht.

Fig. 129.

Alle diese Elektroskope sind jedoch unzureichend, wenn es gilt, außerordentlich geringe Elektricitätsmengen nachzuweisen und zu prüfen. In diesem Falle muß man die Elektricität zuvor nach dem Gesetze der Vertheilung in einem kleineren Körper anhäufen, wenn ihre Wirkung an einem Elektroskope bemerkbar werden soll. Dies geschieht durch den sogenannten Condensator (Fig. 130). Es sind zwei genau abgeschliffene und auf einander passende Metallplatten, die auf der einen Seite mit einer dünnen, die metallische Berührung hindernden Firnißschicht überzogen sind. Die untere Platte (a) heißt die Basis oder die Condensatorplatte, die obere (b) der Deckel oder die Collectorplatte. Beide sind mit isolirenden Handgriffen versehen. Legt man nun beide Platten mit ihren gefirnißten Flächen auf einander und berührt dann die Collectorplatte mit einem schwachelektrisirten Körper, so erhält dieselbe eine kleine Menge Elektricität, die durch den Firniß verhindert wird, sich der Condensatorplatte mitzutheilen.

Fig. 130.



Wohl aber wirkt diese Elektricität vertheilend auf die untere Platte, zieht hier die entgegengesetzte Elektricität an und bindet dieselbe, während die gleichnamige abgestoßen und, wenn man die untere Platte mit dem Finger berührt, abgeleitet wird. War der berührende Körper positiv elektrisch, so wird in der Condensatorplatte die negative Elektricität gebunden. Diese wirkt aber zugleich wieder bindend auf die positive Elektricität der Collectorplatte zurück und verdichtet sie gleichsam *auf der unteren* Fläche derselben. Wenn man daher diese Platte

nochmals mit dem zu untersuchenden Körper berührt, so kann sie nochmals eine gewisse Menge positiver Elektricität aus demselben aufnehmen, die wieder negative Elektricität in der Condensatorplatte anzieht und bindet. Dies wird überhaupt so lange sich wiederholen, bis die noch freie Elektricität in dem oberen Theile des Deckels der Elektricität des zu untersuchenden Körpers das Gleichgewicht hält. Es findet also hier genau derselbe Vorgang statt, wie beim Laden einer elektrischen Flasche. Hebt man nun endlich die Collectorplatte schnell von der Condensatorplatte ab, so ist die positive Elektricität derselben nicht mehr durch die negative der unteren Platte gebunden und giebt sich nun an einem empfindlichen Elektroskop deutlich als positive Elektricität kund.

Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Elektricität.

Wenn man die innere und äußere Belegung einer geladenen Flasche durch einen Leiter von bedeutender Länge verbindet, so müssen die Elektricitäten im Augenblicke der Entladung den ganzen Leiter durchlaufen, um sich zu vereinigen. Man nennt diese Bewegung gewöhnlich einen elektrischen Strom. Schon zur Zeit, als die ersten Versuche mit der Elektrisirmaschine und der Leydener Flasche angestellt wurden, war man erstaunt über die außerordentliche Geschwindigkeit, mit welcher der elektrische Strom selbst lange Leitungen durchläuft. Trotzdem man Drähte von der Länge einer halben geogr. Meile anwandte, schien die Entladung doch augenblicklich zu erfolgen. Auch wenn man das Wasser oder den feuchten Boden zur Fortpflanzung benutzte, indem man einen langen Metalldraht, durch Pflöcke von trockenem Holze isolirt, über ein wechselndes Terrain, selbst über Flüsse hinweg leitete und das entfernte Ende in den Boden steckte, blieb das Ergebniß dasselbe. Sobald man den Knopf der am Ausgangspunkte auf dem Boden stehenden geladenen Flasche mit dem einen Ende des Drahtes berührte, erfolgte auch der elektrische Schlag, der doch die ganze Länge des Drahtes durchlaufen und dann in den Boden übergehen mußte, um in demselben zur äußeren Belegung der Flasche zurückzukehren. Man glaubte sich daher zu der Annahme berechtigt, daß die Fortpflanzung der Elektricität durch Leiter mit einer unmeßbaren Geschwindigkeit geschehe.

Erst der neueren Zeit ist es vorbehalten gewesen, auch diese anscheinend unmeßbare Geschwindigkeit zu messen. Wheatstone war es, der durch ein höchst sinnreiches Verfahren im J. 1835 diese Messung

zuerst ausführte. Dies Verfahren beruht im Wesentlichen auf der Beobachtung von Funken, die durch elektrische Ströme von verschiedener Länge erzeugt werden, in einem mit großer Geschwindigkeit um eine horizontale Axe rotirenden Metallspiegel. Zur Erzeugung der Funken hatte Wheatstone 6 Kugeln in horizontaler Linie an einem Brette befestigt. Die erste Kugel stand durch einen Draht mit der inneren Belegung einer Leydener Flasche in Verbindung. Die zweite Kugel war $^1/_{10}$ Zoll von der ersten entfernt, und von ihr führte in vielen Windungen ein Draht von $^1/_4$ engl. Meile Länge zur dritten Kugel. Diese war wieder $^1/_{10}$ Zoll von der vierten entfernt, und von letzterer führte abermals ein gewundener Draht von der Länge einer Viertelmeile zur 5. Kugel, welcher in einer Entfernung von $^1/_{10}$ Zoll die 6. Kugel gegenüberstand, die endlich mit der äußeren Belegung der Flasche in Verbindung gebracht werden konnte. Wurde diese Verbindung hergestellt, so mußten natürlich 3 Funken erscheinen, die zwischen der ersten und zweiten, der dritten und vierten, der fünften und sechsten Kugel übersprangen. Diesem Brette gegenüber, etwa 10 Fuß entfernt, befand sich nun der rotirende Spiegel. In einem ruhenden Spiegel würde das Auge des Beobachters die drei Funken nur als 3 in einer Horizontallinie liegende leuchtende Punkte (Fig. 131) erblicken.

Fig. 131.

In dem rotirenden Spiegel aber, wenn ihm eine solche Geschwindigkeit gegeben ist, daß er 800 Umdrehungen in der Secunde macht, sieht er die drei Lichtpunkte in die Länge gezogen und zugleich das mittlere Bild gegen die beiden äußeren verrückt (Fig. 132). Diese auffallenden Abänderungen des Funkenbildes durch den rotirenden Spiegel nöthigten nun Wheatstone zu Schlüssen sowohl über die Dauer des Funkens, als über die Geschwindigkeit der elektrischen Fortpflanzung.

Fig. 132.

Daß die Dauer des elektrischen Funkens nur eine sehr kurze ist, hatte man schon vor den Wheatstone'schen Versuchen aus einer einfachen Thatsache geschlossen. Wenn nämlich ein vom Tages- oder Lampenlichte beschienenes Rad rasch umgedreht wird, so kann man die einzelnen Speichen nicht mehr unterscheiden. Wird aber das rasch rotirende Rad in einem dunkelen Zimmer plötzlich durch einen elektrischen Funken erleuchtet, so unterscheidet man die einzelnen Speichen so deutlich, als ob das Rad in Ruhe wäre. Daß aber diese Dauer keine unmeßbar kleine ist, lehren die Wheatstone'schen Versuche. In einem ruhenden Spiegel erblickt nämlich das Auge

nothwendig das Bild eines leuchtenden Punktes z. B. einer Kerzenflamme, im Spiegel stets an derselben Stelle. Wird aber der Spiegel gedreht, so ändert sich diese Stelle, und ist die Drehung rasch genug, so erscheint statt des Kerzenbildes ein Lichtstreif, indem der Lichteindruck von allen den Stellen, welche das Kerzenbild nach und nach durchläuft, noch eine Zeit lang im Auge nachwirkt, und man so den Lichteindruck von den früheren Stellungen des Bildes noch wahrnimmt, während es schon an einer andern Stelle angekommen ist. Da nun auch das Bild des elektrischen Funkens bei einer sehr raschen Rotation des Spiegels in die Länge gezogen erscheint, so muß dieser Funke eine gewisse Dauer haben, und diese muß sich sogar messen lassen durch die Geschwindigkeit der Rotation und die Länge des Bildes. Wheatstone fand, daß, wenn der Spiegel 50 Umdrehungen in der Secunde machte, das Bild des elektrischen Funkens ungefähr in der Ausdehnung von $^1/_2$ Grad erschien. Da nun aber nach einer leicht zu begreifenden Lehre der Optik das Bild eine doppelt so große Winkelgeschwindigkeit hat, als der Spiegel, so hatte dieser während der Dauer des Funkens in seiner Rotation nur $^1/_4$ Grad zurückgelegt. Um diesen Viertelgrad zu durchlaufen, braucht aber der Spiegel den 72,000sten Theil einer Secunde. Die Dauer des elektrischen Funkens und zwar, wie fortgesetzte Versuche erwiesen haben, des kräftigsten ebenso wie des schwächsten, kann also höchstens den 72,000sten Theil einer Secunde betragen.

Die Verrückung der 3 Funkenbilder in dem erwähnten Wheatstone'schen Versuche beweist aber auch, daß die 3 Funken zu verschiedener Zeit entstanden, und zwar der mittlere später, als die beiden äußeren. Die letzteren, deren Spiegelbilder ihre gegenseitige Lage behalten, erscheinen vollkommen gleichzeitig, und der elektrische Strom muß also gleichzeitig von den beiden Belegungen beginnen, um gegen die Mitte des Entladungsdrahtes hin fortzuschreiten. Wenn der mittlere Funke dagegen später erscheint, so kann das nur davon herrühren, daß der elektrische Strom zuvor den langen Draht zu durchlaufen hatte. Die Länge dieses Weges betrug $^1/_4$ engl. Meile. Die Verschiebung des mittleren Funkenbildes gegen die beiden äußeren betrug aber ungefähr $^1/_2$ Grad, und um diese Verschiebung zu erhalten, hatte dem Spiegel eine Geschwindigkeit gegeben werden müssen, daß er 800 Umdrehungen in der Secunde machte. Um jenen halben Grad zurückzulegen, hatte also der Spiegel den 1,152,000 Theil einer Secunde gebraucht, und so viel beträgt nun auch die Verspätung des mittleren Funkens. In dieser kurzen Zeit hatte aber der elektrische Strom einen

Weg von $^1/_4$ engl. Meile zurückgelegt. Die Geſchwindigkeit der elektriſchen Fortpflanzung berechnet ſich danach auf nicht weniger als 288,000 engl. M. oder 62,600 geogr. Meilen in der Secunde, ſo daß ein elektriſcher Strom die Erde in einer Secunde mindeſtens 11 mal umkreiſen würde. Später von andern Phyſikern angeſtellte Verſuche ſtimmen zwar nicht ganz mit dieſem Reſultate überein. Statt einer ſolchen Geſchwindigkeit, welche die des Lichtes noch um $^1/_3$ übertrifft, hat Walker in Amerika nur eine Geſchwindigkeit von 4000 geogr. M. in der Secunde, Fizeau in Frankreich bei einem Eiſendrahte eine ſolche von 14,000, bei einem Kupferdrahte eine von 24,000 Meilen gefunden. Indeß ſcheinen dieſe Verſchiedenheiten weſentlich nur von der vertheilenden Einwirkung des elektriſchen Stromes auf das umgebende Medium herzurühren, die auch eine anziehende Wirkung auf den elektriſchen Strom ſelbſt ausübt und dadurch eine Verzögerung desſelben veranlaßt. Jedenfalls iſt die Geſchwindigkeit eine außerordentlich große.

Die atmoſphäriſche Elektricität.

Wenige Jahre hatten nach Erfindung der Leydener Flaſche hingereicht, Wirkungen der Elektricität kennen zu lehren, von denen man bisher keine Ahnung gehabt hatte. Man hatte bereits Thiere durch dieſen künſtlichen Blitz getödtet, kleine Brettchen durchbohrt, Metalle geſchmolzen, Harz und Weingeiſt entzündet. Man konnte ſich nicht länger dem Gedanken verſchließen, daß eine Aehnlichkeit beſtehe zwiſchen den Wirkungen dieſer neu entdeckten Kraft und den Wirkungen eines Gewitters, und daß dieſer Aehnlichkeit unzweifelhaft auch innere Beziehungen zu Grunde liegen. Man begann zu ahnen, welch eine weitverbreitete Rolle die elektriſche Kraft in dem Leben der Natur ſpiele, begann zu ahnen, daß ſelbſt der gefürchtete Blitzſtrahl wohl nur ein Bote ihres Wirkens in der Atmoſphäre ſei.

Der große Amerikaner Franklin war es, der durch ſeine Verſuche jeden Zweifel beſeitigte. Er hatte beobachtet, daß Metallſpitzen das Vermögen beſitzen, die Elektricität auszuſtrahlen und aufzuſaugen, und kam dadurch auf den Gedanken, die Elektricität in den Gewitterwolken ſelbſt aufzuſuchen, ſie durch Metallſpitzen herabzuziehen. Mit Ungeduld erwartete er die Vollendung eines Glockenthurmes in Philadelphia, der ihm als Spitze dienen ſollte. Da brachte ihn ein Spiel der Kinder, ein Papierdrache, den ſie ſteigen ließen, auf den Gedanken, dieſen mit

einer Metallspitze versehen an einer leitenden hänfenen Schnur in die Wolken zu schicken. Während eines heraufziehenden Gewitters begab er sich im Juni 1752, nur von seinem kleinen Sohne begleitet, um sich nicht dem Gelächter unwissender Spötter auszusetzen, wenn etwa der Versuch mißglücken sollte, in's Freie und ließ seinen Drachen steigen. Die hänfene Schnur war unten an einen Schlüssel befestigt, dieser aber durch eine seidene Schnur isolirt, welche Franklin in der Hand hielt. Eine Wolke nach der andern zog wirkungslos vorüber, und schon begann Franklin an dem Erfolge seines Versuches zu verzweifeln. Da richteten sich plötzlich die Fasern der Schnur auf, und ein knisterndes Geräusch ließ sich hören. Als Franklin jetzt dem Schlüssel den Finger näherte, sprang ein Funke über, dem bald zahlreiche andere folgten, besonders nachdem die Schnur durch den Regen naß geworden war.

Franklin verfolgte diesen Versuch weiter. Es gelang ihm später sogar, mit der aus einer Gewitterwolke durch den emporgestiegenen Drachen herabgeleiteten Elektricität eine elektrische Flasche zu laden, Spiritus anzuzünden und alle die von der Elektrisirmaschine her bekannten elektrischen Erscheinungen hervorzurufen. Er richtete dann an seinem Hause eine isolirte eiserne Stange auf, um mit Bequemlichkeit von seiner Wohnung aus Beobachtungen über die Luftelektricität anzustellen. Am Ende dieser Stange waren zwei Glöckchen nach Art des elektrischen Glockenspiels angebracht, deren Geläut ihm anzeigte, wenn die Stange mit Elektricität geladen war.

Aber auch an andern Orten wurden die Franklin'schen Versuche, die überall großes Aufsehen erregt hatten, wiederholt. Besonders überraschend waren die Resultate, welche der Physiker de Romas in Frankreich erhielt, als er die Schnur des Drachen mit Metalldraht umwickelte. Nicht Funken, Feuerstreifen von 9—10 Fuß Länge und 1 Zoll Dicke sprangen unter pistolenschußgleichem Krachen hervor, und solcher Funken folgten sich mehr als 30 in kaum einer Stunde. Dergleichen Erscheinungen waren geeignet, zu warnen vor dem gefährlichen Spiele, das der wissenschaftliche Eifer mit der gewaltigen Naturkraft trieb. Leider blieb die Warnung unbeachtet, und die Unvorsichtigkeit forderte ihr Opfer. Der Professor Richmann in Petersburg, der die Elektricität in aller ihrer Kraft kennen lernen wollte, hatte sowohl die Eisenstange auf seinem Hause, die bis in sein Zimmer hinabreichte, als alle davon abgeleiteten Drähte möglichst sorgfältig durch Glas und Harz isolirt. Als er während eines Gewitters am 6. Aug. 1753 sich

unglücklicherweise der Stange etwas näherte, um ein daran angebrachtes Elektroskop zu beobachten, traf ein gewaltiger Blitzstrahl seine Stirn und warf ihn todt zu Boden. Der Maler Sokolow, welcher Richmann bei seinen Versuchen unterstützte und auch bei diesem anwesend war, stürzte gleichfalls durch den Blitzschlag betäubt zu Boden, erholte sich jedoch bald wieder.

So auffallende Erscheinungen konnten die Welt nicht länger darüber in Zweifel lassen, daß auch das Gewitter nur eine durch Elektricität bewirkte Erscheinung ist. Allerdings sind die Ursachen der Luftelektricität noch nicht völlig genügend erforscht. Die Beobachtungen haben aber wenigstens ergeben, daß die Luft nicht blos zur Zeit eines Gewitters, sondern auch zu andern Zeiten, besonders bei völlig heiterem Himmel elektrisch ist. Gewöhnlich ist diese Elektricität die positive, doch wechseln, bei Gewittern namentlich, in den vorüberziehenden Wolken häufig positive und negative Elektricität ab. Auch die atmosphärischen Niederschläge, Regen und Schnee, besonders Hagel, sind fast immer elektrisch und bisweilen sogar so stark, daß die Regentropfen und Hagelkörner, wenn sie den Boden berühren, leuchten.

Es ist ferner gewiß, daß die Entstehung der Luftelektricität vorzugsweise bedingt ist durch die Verdichtung der in der Luft enthaltenen Wasserdämpfe. Diese Verdichtung tritt aber besonders ein, wenn warme feuchte Luftströmungen mit kalten zusammentreffen. Die Gewitter sind darum vorzugsweise die Begleiter eines Kampfes entgegengesetzter Winde, und da dieser Kampf bei uns in Mitteleuropa hauptsächlich im Sommer stattfindet, so gehören auch die meisten Gewitter, mehr als die Hälfte, den Sommermonaten an. Namentlich ist der Juli für uns der gewitterreichste Monat; er bringt uns durchschnittlich fast ein Drittel der jährlichen Gewitter. Sehr selten treten bei uns Gewitter bei einer Drehung des Windes von Ost durch Südost nach Süd ein, d. h. sie kommen selten von Osten. Diese Winddrehung setzt nämlich die Verdrängung eines kalten Polarstromes durch einen feuchten Aequatorialstrom voraus, und diese Verdrängung geschieht stets von oben her und erfolgt darum meist sehr langsam. Zur Erzeugung eines Gewitters gehört dann eine große Heftigkeit der kämpfenden Winde, ein Südweststurm, der von einem heftigen Ost- oder Südostwinde zurückgetrieben wird. Diese Gewitter ziehen darum auch stets sehr hoch, und der Volksglaube hat nicht Unrecht, wenn er solche *Gewitter für besonders gefährlich* hält, da das Einschlagen des Blitzes

zwar selten ist, bei der größeren Schlagweite aber auch eine sehr starke elektrische Spannung voraussetzt.

Um so häufiger sind bei uns die Gewitter bei der Drehung des Windes von West durch Nordwest nach Nord, einer Winddrehung, die bei der Verdrängung des Aequatorialstromes durch den Polarstrom eintritt. Die kältere, schwerere Luft des Polarstromes dringt dann von unten her in den Aequatorialstrom ein, und die Mischung der ungleich warmen Schichten erfolgt ungemein plötzlich, besonders wenn ein schon etwas abgelenkter Polarstrom, etwa als Nordnordostwind, mit einem noch wenig abgelenkten Aequatorialstrome, etwa als Südsüdwestwind, zusammentrifft. Solche Gewitter ziehen also stets mit nördlichem Winde auf, nachdem vorher südliche Winde geweht hatten, und der Volksglaube behauptet daher, daß alle Gewitter gegen den Wind ziehen. Diese Gewitter sind es auch, welche das Wetter abkühlen, da die Nordwinde mit ihnen zur Herrschaft gelangen. Gewöhnlich tritt vor solchen Gewittern eine Windstille ein, die durch eine Aufstauung der zum Kampfe bereiten Winde gegen einander bewirkt wird. Das ist dann die so drückend empfundene Schwüle vor dem Gewitter.

Es giebt endlich noch eine andere Art von Gewittern, die ausschließlich unserem Hochsommer angehören, aber noch mehr in den Tropen heimisch sind, wo sie während der Regenzeit regelmäßig jeden Nachmittag die Atmosphäre erschüttern. Das sind die Gewitter, welche sich in Folge aufsteigender dampfreicher Luftströme bilden, und auf welche sich auch die Volksregel bezieht, daß steigende Nebel am Morgen Gewitter am Nachmittage bedeuten. Diese Regel irrt nur darin, daß sie die Nebel für nothwendig hält, da die Luft auch aufsteigen und von Dämpfen begleitet sein kann, ohne daß letztere sichtbar werden, namentlich wenn laue Nächte vorhergehen. Zur vollständigen Ausbildung eines solchen Gewitters ist eine große Ruhe der Atmosphäre, ein feuchter Boden und heiteres Wetter erforderlich. Ein mehrere Tage vorhergehendes langsames Sinken des Barometers zeigt zugleich an, daß an den Grenzen der Atmosphäre eine Bewegung, ein Abfließen der Luft stattfindet. Die ersten Anzeichen sind zarte Schäfchenwolken, die langsam von Südwest heraufziehen. Durch die sich verdichtenden Dämpfe der aufsteigenden Luftmassen werden diese Schäfchen vergrößert und nehmen die Form kleiner Schneeflöckchen an. Gleichzeitig bilden sich in der Tiefe Haufenwolken, die allmälig in dichte Wolken übergehen. Diese dunkle Wolkenschicht hindert die Sonne, auf die darunterliegenden Luftmassen einzuwirken. Diese werden kälter als

die Umgebung, und so beginnt in der Höhe eine Strömung gegen diese Wolken, die an dem Zuge kleiner Wölkchen sichtbar wird. Auch am Boden machen sich Luftströmungen bemerkbar, die nach allen Seiten vom Gewitter ausgehen. Ist der Temperaturunterschied zwischen der Gewitterwolke und den untern Luftschichten sehr groß, so stürzen kalte Luftmassen mit großer Heftigkeit in die Tiefe und bewirken hier eine plötzliche Verdichtung der Dämpfe, welche noch zur Entwicklung der Elektricität beiträgt. Oft wiederholen sich diese Gewitter mehrere Tage hinter einander; aber immer folgt ihnen wieder heiteres, warmes Wetter. Die Regengüsse, welche solche Gewitter mit sich führen, werden vom Volke nicht mit Unrecht als besonders fruchtbringend bezeichnet, da sie reichlich mit Stoffen beladen sind, die der Pflanzenwelt zur Nahrung dienen, mit Kohlensäure, Ammoniaksalzen u. s. w., welche, durch Zersetzungen am Boden erzeugt, von den aufsteigenden Luftströmungen emporgerissen und nun im Regen gelöst wieder herabgebracht werden.

Die Höhe der Gewitterwolken dürfte im Allgemeinen zwischen 5000—6000 Fuß betragen. In einzelnen Fällen senken sie sich wohl auch bis zu 1000 Fuß herab. In Höhen von 12,000 Fuß gehören Gewitter selbst in den Tropen zu den seltensten Erscheinungen.

Die Vorgänge und Wirkungen des Gewitters entsprechen ganz den bekannten, bei der künstlichen Elektricität beobachteten. Eine mit positiver Elektricität geladene Gewitterwolke wirkt vertheilend auf andere Wolken und auf das unter ihr befindliche Erdreich. Wolken und Boden werden dadurch mit negativer Elektricität geladen. Erreicht die Spannung zwischen den entgegengesetzten Elektricitäten einen gewissen Grad, so erfolgt eine Ausgleichung; sie überwinden den Leitungswiderstand der trennenden Luftschicht und vereinigen sich in einem Blitzstrahle. Die Entladung gegen den Erdboden, das sogenannte Einschlagen des Blitzes, erfolgt um so eher, je stärker die Wolke geladen ist, und je niedriger sie schwebt. Das letzte Ziel des Blitzes ist immer die feuchte Erde oder das Wasser. Sobald er dieses Ziel erreicht hat, oft erst in einer gewissen Tiefe unter dem Boden, verlieren sich alle seine zerstörenden Wirkungen. Auf seinem Wege zur Erde folgt er vorzugsweise den guten Leitern, namentlich den Metallen. Da durch Feuchtigkeit das Leitungsvermögen der Luft verbessert wird, so kann daher niederfallender Regen das Einschlagen begünstigen. Da aber andererseits durch anhaltenden Regen auch die Elektricität der Gewitterwolken allmälig gegen *die Erde abgeleitet* wird, so kann dadurch auch wieder die Gefahr

des Blitzes, sogar der Ausbruch des Gewitters selbst ganz beseitigt werden.

Da die Elektricitäten in ihrer Ausgleichung stets den kürzesten Weg suchen, so trifft der Blitz vorzugsweise die höchsten, als die der darüber schwebenden Gewitterwolke nächsten Gegenstände. Trifft er hier auf gute Leiter, so folgt er diesen, ohne eine Spur seines Weges zurückzulassen. Darauf beruht die Einrichtung des Blitzableiters, den wir bereits Franklin verdanken. Er besteht aus einer Auffangstange von verzinktem Eisen, die auf der höchsten Spitze des Hauses angebracht ist und oben in eine vergoldete oder noch besser in eine Platinspitze endet, und aus einer eisernen Ableitungsstange von $^3/_4$ Zoll in's Geviert, die zum Schutze gegen Rost mit Oelfarbe überzogen und über das Dach und an dem Gebäude herab in den feuchten Erdboden oder noch besser in Wasser geleitet ist. Unten theilt man sie in mehrere Arme und umgiebt sie, soweit sie in den Boden reicht, mit ausgeglühter Holzkohle zum Schutze gegen das Rosten. Noch zweckmäßiger läßt man sie in einiger Höhe über dem Boden enden und verbindet sie mit einem weniger der Oxydation ausgesetzten Kupferstreifen, den man in das feuchte Erdreich leitet. Natürlich müssen alle Theile des Blitzableiters auf das Sorgfältigste mit einander verbunden und alle größeren Metallmassen des Gebäudes, metallene Dachbedeckungen, blecherne Dachrinnen ꝛc., in leitende Verbindung mit demselben gebracht sein. Ein gut eingerichteter Blitzableiter schützt, wie man der Erfahrung gemäß annimmt, auf eine Entfernung, welche der anderthalb bis zweifachen Höhe gleich ist, um welche die Auffangstange die höchsten benachbarten Theile des Gebäudes überragt. Größere Gebäude müssen darum mehrere Blitzableiter haben. Der Schutz des Blitzableiters beruht zum Theil auf der einsaugenden und ausströmenden Wirkung der Spitze, welche die allmälige Ausgleichung der Elektricitäten herbeiführt, zum Theil aber auch in der unschädlichen Ableitung des einschlagenden Blitzes. Fehlerhaft construirte Blitzableiter aber können sogar dem Gebäude gefährlich werden.

Trifft der einschlagende Blitz auf schlechte Leiter, so bezeichnet er seinen Weg durch zerschmetternde und zerstörende Wirkungen. Am stärksten bemerkt man diese da, wo der Blitz von einem zum andern Leiter übergesprungen ist, an der Stelle des Aufsprungs und des Absprungs. Metalle sind hier häufig geschmolzen, Steine weggeschleudert, Balken zersplittert. Bäume, die vom Blitze getroffen worden, sind oft ihrer ganzen Rinde entkleidet, von innen heraus zerspalten und

zersplittert. Brennbare Gegenstände werden auch bisweilen entzündet. Menschen und Thiere werden häufig vom Blitze getödtet, und zwar, wie es scheint, in Folge einer heftigen Affection des Nervensystems, die den Tod meist augenblicklich herbeiführt. Man schätzt die Zahl der Menschen, die in Frankreich jährlich theils unmittelbar durch den Blitz, theils in Folge von Blitzschlägen den Tod finden, ungefähr auf 200. Gleichwohl ist die Angst vieler Menschen vor Gewittern eine sehr unbegründete und sogar schädliche, da sie durch unsinnige Vorsichtsmaßregeln sogar die Gefahr oft herbeiruft. Namentlich ist das Verschließen der Thüren und Fenster eines mit Menschen angefüllten Zimmers nicht blos unnütz, weil Zugluft durchaus nicht die Gefahr vergrößert, sondern auch im Falle des Einschlagens schädlich, weil es die Gefahr des Erstickens herbeiführen kann. Ebenso ist die Meinung, daß schnelles Laufen während des Gewitters die Gefahr vermehre, eine völlig unbegründete. Einigermaßen berechtigt ist nur die Volksmeinung, welche das Feuer auf dem Herde bei heftigen Gewittern auszulöschen gebietet, da der aufsteigende Rauch allerdings dem Blitze den Weg zum Hause erleichtern kann.

Wenn der Blitz im Großen ist, was der elektrische Funke unserer Maschinen und Flaschen im Kleinen, so ist der den Blitz begleitende Donner im Großen, was der den elektrischen Funken begleitende Knall im Kleinen ist. Das Rollen des Donners rührt theils von der Zurückwerfung des Schalles an den Wolken oder an Gegenständen auf der Erde, theils davon her, daß der an verschiedenen Stellen der elektrischen Bahn in der Luft erregte Schall wegen der ungleichen Entfernung zu verschiedenen Zeiten in unser Ohr gelangt. Uebrigens reicht die Hörbarkeit des heftigsten Donners nur auf etwa 2 — 3 Meilen, während Geschützesdonner bekanntlich noch in Entfernungen von 30 M. vernommen werden kann. Entfernte Gewitter werden uns darum nur noch durch Blitze wahrnehmbar, und man bezeichnet bekanntlich solche donnerlose Blitze, die man häufig Abends oder Nachts selbst bei wolkenfreiem Horizonte beobachtet, als Wetterleuchten. Solches Wetterleuchten kann sogar durch den Wiederschein von Blitzen entstehen, die von Wolken unter dem Horizonte ausgehen. Bisweilen mag es aber wohl auch aus elektrischen Ausstrahlungen starkgeladener Wolken zu erklären sein, ähnlich den Lichtbüscheln, die wir im Dunkeln aus Kanten oder Spitzen starkgeladener Conductoren ausströmen sahen. Daß wenigstens solche Ausstrahlungen auch bei der atmosphärischen Elektricität stattfinden, beweist das sogenannte St. Elmsfeuer. Es zeigt sich an den

Spitzen hoher Gegenstände, namentlich von Thürmen, Masten und hohen Bäumen, bisweilen aber selbst an Gesträuch, an den Mähnen und Ohren der Pferde, an den Hüten der Menschen. Leuchtende Flammen tanzen auf den Spitzen, und Hunderte kleiner Flämmchen sogar bedecken die Bäume, jede Zweigspitze, jedes Knöspchen. Jedes einzelne Flämmchen ist klein, von schwacher Leuchtkraft, aber in der Gesammtheit bringen sie doch einen zauberhaften Lichteffect hervor. Namentlich scheint diese Erscheinung bei Wintergewittern mit niedrig ziehenden Wolken und bei heftigen Strömen einzutreten, meist nach vorangegangenem Nebel oder Regen, so daß jeder Zweig durchnäßt und mit der Erde in gute leitende Verbindung gebracht ist. Die Spannung der Elektricitäten kann bei solcher Feuchtigkeit der Atmosphäre nicht zu einer plötzlichen Ausgleichung durch Donner und Blitz führen; aber sie ist doch stark genug für ein Ausströmen aus Spitzen. Auch den Alten war diese Erscheinung schon bekannt, und sie benannten sie nach den Dioscuren Kastor und Pollux, welche sie als Retter in Seegefahr verehrten, und die auch hier das Ende des Sturmes und die Rettung verkündeten, wenn ihre Feuer von Masten und Segelstangen leuchteten.

Drittes Kapitel.

Der Galvanismus.

Die Entdeckungen Galvani's und Volta's.

Gegen das Ende des vorigen Jahrhunderts waren die wichtigsten Gesetze und Erscheinungen der Reibungselektricität, der Anziehung und Abstoßung, der Vertheilung, der Wirkung der Spitzen, richtig erkannt, und die Aufmerksamkeit auf diese neue Naturkraft war so gesteigert, daß man ihre Wirksamkeit in der Natur übertrieb und alles Unerklärte und Räthselhafte für ihr Werk ausgab. Namentlich waren Viele zu der Ansicht geneigt, daß die dunkelen Erscheinungen des thierischen Lebens ihren letzten Grund nur in einer dem thierischen Körper innewohnenden Elektricität haben könnten. Darum beschäftigte sich auch der italienische Arzt und Professor Aloisius Galvani zu Bologna neben seinen elektrischen Versuchen mit der Erforschung des Nervenlebens an zergliederten Fröschen. Als er an einem Abende des Jahres 1790 sein Laboratorium verließ, lagen auf einem Tische in der Nähe einer Elektrisir-

maschine einige solcher abgehäuteter Frösche, deren Füße, vom Rumpfe getrennt, nur noch durch die bloßgelegten Hüftnerven mit dem Rückenmarke zusammenhingen. Ganz unabsichtlich berührte einer der Gehülfen mit der Spitze eines Messers den Nerv eines dieser Frösche, und sofort wurden alle Muskeln des Frosches in starke Zuckungen versetzt. Die Gattin Galvani's war zugegen. Sie gehörte zwar nicht zu den gelehrten Frauen, aber sie hatte von ihrem Manne gelernt, auf die Natur zu merken. Diese neue Erscheinung fiel ihr auf, und sie glaubte zu entdecken, daß die Zuckungen mit Funken in Verbindung ständen, die gleichzeitig von einem anderen Gehülfen aus dem Conductor der Elektrisirmaschine gezogen wurden. Eilends benachrichtigte sie ihren Gatten davon, und Galvani glaubte nun die Bestätigung seiner lange vermutheten thierischen Elektricität gefunden zu haben. Freilich war die ganze Erscheinung nichts als die Folge eines sogenannten elektrischen Rückschlages, eine Ausgleichung der entgegengesetzten Elektricitäten, welche an dem einen Ende, dem Froschnerv, eintreten mußte, wenn am anderen, dem Conductor, durch den Funken die Gegensätze aufgehoben wurden. Aber gerade die irrthümliche Meinung, etwas ganz Neues entdeckt zu haben, trieb Galvani zu fortgesetzten Versuchen. Bald zeigte es sich, daß selbst ohne die Gegenwart einer künstlich erregten Elektricität dieselbe Erscheinung eintrat. Als er einst solche Froschschenkel mittelst kupferner Haken an einem eisernen Geländer aufgehängt hatte, bemerkte er, daß sie stets in Zuckungen geriethen, so oft der Wind die Schenkelmuskeln an die Eisenstäbe schlug. Das war in der That ein völlig neues Phänomen und eine Entdeckung, die den Namen Galvani's unsterblich gemacht hat.

Man kann sagen, der Zufall habe Galvani zu seiner Entdeckung verholfen. Wenn aber der Zufall überhaupt in der Geschichte der Wissenschaften wie der Staaten eine große Rolle spielt, so thut er doch nicht mehr, als daß er, um ein Gleichniß zu gebrauchen, dem Jäger das Wild zuführt. Der Jäger aber muß ein guter Schütze sein, wenn er den Zufall nützen soll, und ein solcher war Galvani. Seine Versuche lehrten sehr bald die allgemeine Bedingung solcher Muskelbewegungen kennen, daß nämlich zwei Metalle vorhanden sein müssen, von denen das eine den Muskel, das andere den Nerv berührt, und die zugleich unter einander verbunden sind. Er nannte diese Metallverbindung den leitenden Bogen.

Wenn Galvani anfangs noch die Meinung hegte, daß ein einziges Metall hinreiche, um jene Muskelzuckungen hervorzurufen, so geschah

es, weil er noch den Sitz dieser neuen elektrischen Kraft im thierischen Körper suchte und den Froschschenkel geradezu mit einer Leydener Flasche verglich, deren beide Stanniolbelegungen nur in leitende Verbindung gebracht werden müßten, um entladen zu werden. Aber gerade die Forschungen, welche er durch diesen Irrthum anregte, führten bald zu einer richtigeren Beurtheilung dieser Erscheinung.

Alexander Volta in Pavia war es, der zuerst jener Ansicht von einer thierischen Elektricität, in welcher man zugleich einen der geheimen Lebensfäden fassen zu können glaubte, entgegentrat. Er war der Meinung, daß die Quelle der Elektricität nicht in dem Thierkörper, sondern in der Berührung zweier verschiedener Körper, fester oder flüssiger, organischer oder unorganischer zu suchen sei. Ein heftiger Kampf entbrannte zwischen Galvani und Volta, der sich der ganzen wissenschaftlichen Welt mittheilte. Es war ein Glück, daß Volta sich nicht durch die ersten gegen ihn ausfallenden Versuche schlagen ließ, daß er aber auch nicht bei der theoretischen Behauptung stehen blieb, sondern nach thatsächlichen Beweisen für seine Ansicht suchte. Die Erfindung der nach ihm benannten Säule, welche er am 20. März 1800 der Londoner Gesellschaft der Wissenschaften anzeigte, entschied jenen Streit endgültig.

Die Wirkungen dieser Voltaischen Säule erregten ein außerordentliches Aufsehen. Galvani selbst erlebte aber diesen Triumph der von ihm ausgegangenen Entdeckung nicht mehr. Er ward ein Opfer der politischen Stürme seiner Zeit. Seine Weigerung, der neuen cisalpinischen Republik den Eid der Treue zu leisten, zog ihm den Verlust seines Amtes zu; er versank in Armuth und Trübsinn und starb, von Kummer gebeugt, im Jahre 1798. Volta dagegen erntete den vollen Lohn für seine Entdeckung, wenn Gold und äußere Ehren geistiges Verdienst zu lohnen vermögen. Napoleon berief ihn bereits im Jahre 1801 nach Paris, überhäufte ihn mit Reichthümern und erhob ihn in den Senatoren- und Grafenstand. Er starb erst im Jahre 1826 im 81. Jahre seines Lebens in seiner Vaterstadt Como.

Galvanische Ketten.

Volta bediente sich bei seinem ersten Versuche zweier zusammengelötheter Platten von Kupfer und Zink. Wenn er die Zinkplatte mit der Hand ableitend berührte, so zeigte die Kupferplatte negative Elektricität; hielt er die Kupferplatte in der Hand, so zeigte die Zinkplatte positive Elektricität. Die Wirkungen waren freilich so schwach, daß sie

nur mit Hülfe des von Volta erfundenen Condensators nachgewiesen werden konnten. Gleichwohl erklärte Volta die Zuckungen des Froschschenkels als eine Folge der Entladung dieser entgegengesetzten Elektricitäten der Metalle, die durch den Froschschenkel vermittelt würde. Wenn sein Gegner Galvani nachwies, daß jene Zuckungen auch stattfinden, wenn der entblößte Nerv und Muskel des Froschschenkels nicht mit zwei verschiedenen, sondern mit einem und demselben Metalle zugleich berührt werden, so beruht dies auf der Wirkung schwacher elektrischer Ströme, die in der That durch den Lebensproceß hervorgerufen werden, die aber nichts mit der kräftigen elektrischen Wirkung einander berührender verschiedenartiger Metalle zu thun haben. Dies wird um so ersichtlicher, wenn man die Wirkung der Metalle durch ein Mittel verstärkt, welches der Scharfsinn Volta's auffand, wenn man nämlich einen feuchten Leiter, etwa eine mit einer verdünnten Salz- oder Säurelösung getränkte Papp- oder Tuchscheibe, zwischen die beiden Metalle einschaltet. Eine solche Verbindung einer Kupfer- und einer Zinkplatte, getrennt durch einen feuchten Leiter, nennt man eine *einfache galvanische Kette* oder ein *galvanisches Element*.

Die Wirkung einer solchen Kette beruht darauf, daß bei der Berührung zweier verschiedenartiger Metalle eine Störung des elektrischen Gleichgewichts, eine Vertheilung der entgegengesetzten Elektricitäten eintritt. Die positive Elektricität geht vom Kupfer zum Zink, die negative vom Zink zum Kupfer über. Als die Ursache dieser Vertheilung bezeichnet man eine in den Metallen sich äußernde Kraft, die man die *elektromotorische Kraft* nennt.

Solche *Elektricitätserreger* oder *Elektromotoren* sind aber nicht blos Kupfer und Zink, sondern sämmtliche Metalle und außerdem in hohem Grade die Kohle. Die kräftigste Wirkung unter den Metallen geben Platin und Zink, noch kräftigere Kohle und Zink. Nach ihrer Wirkungsfähigkeit kann man daher die Metalle in eine Reihe ordnen, in welcher jedes folgende, mit einem vorhergehenden in Berührung gebracht, positive, jedes vorhergehende negative Elektricität erhält, und zugleich die elektrische Spannung um so größer wird, je weiter in dieser Reihe die Metalle von einander abstehen. In dieser Reihe nimmt die Kohle als Erreger die erste Stelle ein, dann folgen Platin, Gold, Silber, Kupfer, Eisen, Zinn, Blei, Zink.

Volta unterschied außerdem Erreger der zweiten Classe und rechnete dazu insbesondere die erwähnten feuchten Leiter, überhaupt Flüssigkeiten verschiedener Art, Wasser, Säuren, Lösungen von Alkalien und

Salzen. Wenn man ein Metall mit einem solchen Erreger zweiter Klasse in Berührung bringt, etwa in eine verdünnte Säure taucht, so zeigt das Metall in den meisten Fällen am hervorragenden Ende freie negative, die Flüssigkeit also freie positive Elektricität. Zink, als das positivste Metall, wird in solchen Flüssigkeiten am stärksten negativ elektrisch, mehr negative Metalle, wie Zinn, Kupfer ꝛc. geben eine schwächere elektrische Spannung. Taucht man zwei verschiedene Metalle, wie Kupfer und Zink, zugleich in eine Flüssigkeit, so zeigt von diesen, ohne daß sie sich gegenseitig berühren, das stärker erregte, das Zink, freie negative, das schwächer erregte, das Kupfer, freie positive Elektricität.

Da man aus der Reihe der Elektricitätserreger je zwei auswählen kann, um eine galvanische Kette zu bilden, so kann diese natürlich von sehr verschiedener Art sein. Daß man gewöhnlich Zink und Kupfer gewählt hat, liegt nur daran, daß diese einen sehr kräftigen elektrischen Gegensatz zeigen, und zugleich ihr Preis ein sehr billiger ist. Die Herstellung einer Kette geschieht dadurch, daß man entweder die beiden Metalle in eine Flüssigkeit, gewöhnlich eine verdünnte Säure oder eine Kochsalzlösung, taucht, oder zwischen sie eine mit der Flüssigkeit getränkte Papp- oder Tuchscheibe einschaltet. *Geschlossen* heißt die Kette, so lange die Metalle einander berühren, wozu aber auch schon die Verbindung durch einen leitenden Metalldraht hinreicht. *Geöffnet* heißt die Kette, sobald diese Berührung oder Verbindung aufgehoben ist.

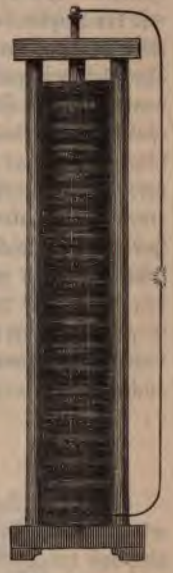
In der geöffneten Kette wird durch die Flüssigkeiten in beiden Metallen Elektricität erregt, und zwar besitzt das stärker erregte, das Zink, freie negative, das schwächer erregte, das Kupfer, freie positive Elektricität. Wird die Kette geschlossen, so strömt durch den Schließungsbogen die positive Elektricität vom Kupfer zum Zink, die negative vom Zink zum Kupfer über. Zugleich aber wirken in der geschlossenen Kette auch die sich berührenden Metalle auf einander erregend, und es findet gleichfalls ein Strömen positiver Elektricität vom Kupfer zum Zink, negativer vom Zink zum Kupfer statt. Beide Wirkungen, zwischen den Metallen selbst und zwischen den Metallen und der Flüssigkeit, finden in dem gleichen Sinne statt und verstärken daher einander. Aber die Erregung zwischen den Metallen dauert fort, so lange sie in Berührung sind, so daß in der geschlossenen Kette eine ununterbrochene, anhaltende Strömung der Elektricitäten stattfindet, der positiven vom Kupfer zum Zink, der negativen in entgegengesetzter Richtung vom Zink zum Kupfer. Darin beruht der wesentliche Unterschied zwischen der galvanischen Elektricität und der Reibungselektricität. Auch bei der Erd-

ladung der Leydener Flasche findet ein Strömen der Elektricität in dem Leitungsdrahte statt; auch dort ist der Strom ein doppelter, ein positiver und ein negativer; aber dieser Strom ist dort nur ein augenblicklicher, vorübergehender, hier ein dauernder, continuirlicher. Man sollte fast meinen, daß bei ununterbrochenem Drehen der Scheibe auch an der Elektrisirmaschine ein continuirlicher Strom erzeugt werden müsse. Aber die Berührung zwischen Reiber und Reibzeug findet doch immer nur in einzelnen Punkten statt, und Reiber und Conductor sind sogar durch eine Luftschicht getrennt, so daß ein Uebergang der Elektricität nur eintreten kann, wenn dieselbe im Reiber eine hinreichende Spannung erlangt hat, um den Leitungswiderstand der trennenden Luftschicht zu überwinden. Ganz anders in der geschlossenen galvanischen Kette. Hier stehen alle Glieder in einem innigen leitenden Zusammenhange, und da die bei ihrer Berührung thätigen elektromotorischen Kräfte ununterbrochen fortwirken, so muß sich auch die Kette ununterbrochen laden und entladen, oder vielmehr bei der ungeheueren Geschwindigkeit der elektrischen Fortpflanzung von einem ununterbrochenen Strome durchlaufen werden. Dafür ist freilich auch die elektrische Spannung in einer galvanischen Kette außerordentlich gering gegenüber der bei der Elektrisirmaschine in Reiber oder Conductor angehäuften Elektricität. Diese Verschiedenheiten der Reibungselektricität und der galvanischen Elektricität sind daher auch von großem Einflusse auf ihren Gebrauch und ihre Wirkungen. Wegen der geringeren Spannung der letzteren sind ihre Wirkungen weniger abhängig von der Vollkommenheit der Isolirung, also auch von der umgebenden Luft, von der Witterung. Wegen ihres ununterbrochen fließenden Stromes im Gegensatz zu den stoßweisen Wirkungen der Reibungselektricität eignet sie sich überhaupt mehr, anhaltende Wirkungen hervorzubringen, wie sie für praktische Zwecke erfordert werden, und wir finden sie darum auch bereits in den Gewerben in Anwendung.

Um die schwache Spannung der galvanischen Elektricität zu verstärken, kam schon Volta auf den Gedanken, mehrere galvanische Ketten oder Elemente mit einander zu verbinden, und er verwirklichte im Jahre 1800 diesen Gedanken in der nach ihm benannten Säule oder Batterie. In der einfachsten Form erhält man dieselbe, wenn man abwechselnd Kupfer- und Zinkplatten über einander schichtet, die einzelnen Plattenpaare aber durch Tuchscheiben, die mit Salz- oder Salmiaklösung getränkt sind, von einander trennt (Fig. 133). Als Unterlage kann ein Holzgestell dienen, auf welchem drei senkrecht

stehende Glasstäbe angebracht sind, welche die Platten zusammenhalten. Die Säule endet oben mit einer Kupferplatte, welche der positive Pol, unten mit einer Zinkplatte, welche der negative Pol derselben heißt. An die Pole sind Drähte befestigt, durch welche die Säule geöffnet und geschlossen werden kann. Die verstärkte Wirkung dieser Säule erklärt sich einfach aus der Vertheilung der Elektricitäten auf die Endplatten. In dem ersten Elemente ladet sich in Folge der zwischen den einzelnen Gliedern stattfindenden elektrischen Erregung die Kupferplatte mit positiver Elektricität, und diese pflanzt sich durch alle damit in Verbindung stehenden Platten bis zur äußersten Kupferplatte fort. In jedem folgenden Elemente findet dieselbe Erregung, dieselbe Ladung, dieselbe Vertheilung statt. Die positiv elektrische Ladung jeder einzelnen Kupferplatte geht auf die letzte über. Ganz dasselbe geschieht aber auch mit der negativ-elektrischen Ladung jeder einzelnen Zinkplatte; die äußerste Zinkplatte erhält die Ladungen sämmtlicher. Die elektrische Spannung an den Polen der Volta'schen Säule wächst also nahezu in gleichem Verhältnisse mit der Zahl der Plattenpaare oder Elemente, und man hat es darum in der Gewalt, die kräftigsten Wirkungen durch dieselbe hervorzubringen.

Fig. 133.



Der Gebrauch dieser einfachen Säule ist aber doch mit manchen Uebelständen verbunden. Sie entwickelt ihre volle Kraft nur unmittelbar nach ihrem Aufbau; dann aber nehmen ihre Wirkungen rasch ab, in Folge der Veränderungen, welche die Metallplatten erleiden. Man muß also, um wieder kräftige Wirkungen zu erhalten, die Säule aus einander nehmen, die Platten reinigen und von Neuem aufbauen. Um dies ohne Mühe und Zeitaufwand ausführen zu können, hat man daher der Batterie eine etwas veränderte Gestalt gegeben. Man legt nämlich die Platten nicht über einander, sondern stellt sie aufrecht neben einander in Becher oder Tröge, die mit verdünnter Säure gefüllt sind, oder man rollt auch Zink- und Kupferbleche spiralförmig über einander, ohne daß sie sich berühren, und taucht sie dann ebenfalls in Gefäße, die mit gesäuerten Flüssigkeiten gefüllt sind. Darauf beruhen der Wollaston'sche Trogapparat und der Hare'sche Calorimotor. Bei dem

ersteren besteht jedes Element aus einer Kupferplatte, die so um eine Zinkplatte herumgebogen ist, daß jeder Seite der Zinkplatte eine Kupferfläche gegenübersteht. Durch zwischen geschobene Holzstückchen sind die Platten an einer leitenden Berührung mit einander gehindert. Die Zinkplatte jedes Elements ist durch einen angelötheten Kupferstreifen mit der Kupferplatte des folgenden Elements in Verbindung. Sämmtliche Plattenpaare endlich sind an einer Holzleiste befestigt und können also gleichzeitig in die Flüssigkeit getaucht und wieder herausgenommen werden.. Die Flüssigkeit selbst ist Wasser, welches durch 5 bis 6 Procent Schwefelsäure oder einer Mischung von Schwefel- und Salpetersäure angesäuert ist, und befindet sich für jedes Plattenpaar in einem besonderen Gefäße. Der Hare'sche Calorimotor besteht aus zwei durch einen Tuchstreifen von einander getrennten, über einen Holzcylinder spiralig aufgewickelten Platten von Zink und Kupfer, die in eine ähnliche Flüssigkeit getaucht werden können. Die kräftige Wirkung derselben beruht auf der Größe der einander erregenden Oberflächen. Er ist ganz besonders geeignet, kurze Metalldrähte, die als Schließungsbogen benutzt werden, glühend zu machen und zu schmelzen, und hat auch davon seinen Namen: Calorimotor, d. i. Wärmeerreger.

Constante Ketten.

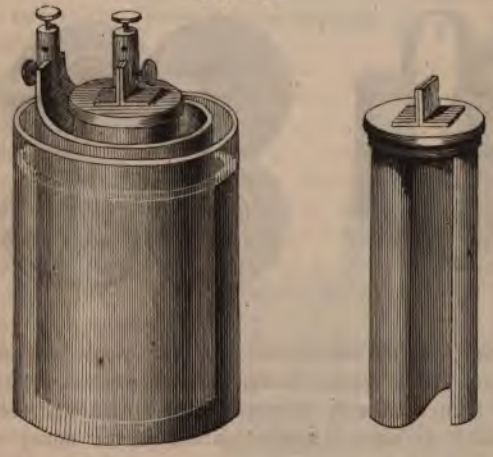
Bei der Anwendung von Trogapparaten mußte man sehr bald erkennen, daß chemische Vorgänge in der galvanischen Kette stattfinden, und daß die Thätigkeit der Kette überhaupt nur auf Kosten des einen Metalls, des Zinks nämlich, welches durch die Säure aufgelöst wird, erhalten werden kann. Man fand sogar, daß diese chemische Zersetzung in der Kette genau der elektrischen Thätigkeit derselben entspreche. Nun konnte auch die eigentliche Ursache nicht länger verborgen bleiben, weshalb die Wirkung der Volta'schen Säule, wie jeder andern galvanischen Kette, so schnell nachließ. Die Auflösung des Zinks in der Säure setzt nämlich eine Wasserzersetzung voraus, und während der Sauerstoff des Wassers sich mit dem Zink verbindet, dasselbe oxydirt, lagert sich der freigewordene Wasserstoff in feinen Bläschen an der Kupferfläche ab und verhindert oder schwächt so die Einwirkung der Flüssigkeit auf das Kupfer. Diesem Uebelstande hat man nun in den sogenannten constanten Ketten durch verschiedene Einrichtungen zu begegnen versucht.

Die erste Einrichtung dieser Art rührt von Becquerel her, ist aber

später von Daniell wesentlich verbessert worden und führt danach auch den Namen der Daniell'schen Kette. Sie beruht auf der Anwendung zweier verschiedener Flüssigkeiten für die beiden Metalle. Das Zink befindet sich hier in Form eines hohlen Cylinders in einer mit verdünnter Schwefelsäure gefüllten cylindrischen Thonzelle. Diese Thonzelle ist von einem Cylinder aus dünnem Kupferblech umgeben und steht in einem Gefäße, das nicht mit Schwefelsäure, sondern mit einer Auflösung von Kupfervitriol gefüllt ist. Eine Entwicklung von freiem Wasserstoffgas kann hier nicht stattfinden. Denn der bei der Oxydation des Zinks sich aus dem Wasser abscheidende Wasserstoff wirkt sofort auf das in der Auflösung befindliche Kupferoxyd ein und vereinigt sich mit dem Sauerstoffe desselben wieder zu Wasser, wodurch metallisches Kupfer ausgeschieden wird. Statt des Ueberzugs von Wasserstoffgas bildet sich also hier ein Beleg von metallischem Kupfer auf der Kupferfläche, so daß diese in beständiger und unmittelbaren Berührung mit der Flüssigkeit bleibt.

Einen weit kräftigeren, wenn auch nicht ganz so gleichmäßig andauernden Strom geben die Grove'sche und die Bunsen'sche Batterie.

Fig. 134.



Bei beiden sind in einem weit stärkeren elektrischen Gegensatze, als Zink und Kupfer, zu einander stehende Körper in Anwendung gebracht.

bei der ersteren Zink und Platin, bei der letzteren Zink und Kohle. Bei beiden sind ferner diese Körper von zwei verschiedenen Flüssigkeiten, das Zink von verdünnter Schwefelsäure, das Platin oder die Kohle von concentrirter Salpetersäure umspült. Bei beiden sind endlich diese Flüssigkeiten durch eine poröse Zwischenwand von einander getrennt, gewöhnlich durch eine Zelle von unglasirtem Thon, welche nur das Zusammenfließen derselben verhindert, aber nicht den leitenden Zusammenhang zwischen ihnen aufhebt. Bei der Grove'schen Batterie (Fig. 134) befindet sich das Sförmig gebogene Platinblech in einer mit rauchender Salpetersäure angefüllten Thonzelle, die in einem größeren, mit verdünnter Schwefelsäure gefüllten Gefäße steht, in welches auch der Zinkcylinder taucht. In der Bunsen'schen Batterie (Fig. 135) ist der hohle Kohlencylinder von Salpetersäure umgeben, und in demselben steht eine Thonzelle, welche mit verdünnter Schwefelsäure gefüllt ist und worin sich ein Zinkkloben befindet. Die Masse des Kohlencylinders wird gewöhnlich durch wiederholtes Glühen eines Gemenges von Steinkohle und Coaks bereitet, das vor dem letzten Glühen noch mit concentrirter Zuckerlösung getränkt wird. Eine ebenso

Fig. 135.

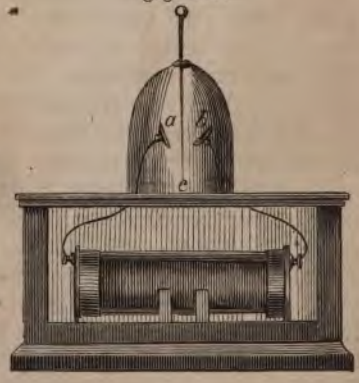
Fig. 136.

feste und fast klingend harte Masse liefert die Kohle, die sich in Gasfabriken an den inneren Wänden der thönernen Retorten absetzt. Natürlich kann man auch mehrere solcher Grove'scher oder Bunsen'scher Elemente zu einer Batterie zusammensetzen, indem man immer den Zinkcylinder des einen mit dem Kohlencylinder oder Platinblech des andern leitend verbindet (Fig. 136). Solche Batterien übertreffen *nicht blos* durch die Kräftigkeit ihrer Wirkungen alle gewöhnlichen

galvanischen Batterien, sondern auch durch die Dauer und Gleichmäßigkeit des durch sie erzeugten Stromes. Letztere beruht darauf, daß das bei der Auflösung des Zinks sich entwickelnde Wasserstoffgas sofort von der Salpetersäure oxydirt wird, so daß sich Wasser und salpetrige Säure bilden, welche letztere gasförmig entweicht, die Berührung des Platins oder der Kohle mit der Salpetersäure also nicht stört.

Wegen der außerordentlich langen Dauer ihrer Wirksamkeit verdient hier auch die Zamboni'sche oder sogenannte trockene Säule eine Erwähnung. Sie gleicht im Wesentlichen einer gewöhnlichen Volta'schen Säule; nur sind die Kupfer- und Zinkplatten durch Scheiben von unächtem Gold- und Silberpapiere (Kupfer und Zinn) vertreten. Diese Scheiben werden erhalten, wenn man einen Bogen Goldpapier und einen Bogen Silberpapier mit ihren unbelegten Seiten zusammenleimt und dann in Scheiben von Thalergröße zerschneidet. Schichtet man mehrere Tausende solcher Papierscheiben aufeinander, natürlich so, daß immer Kupfer- und Zinnseite sich berühren, so erhält man eine Säule, in welcher das Papier und die aus der Luft angezogene Feuchtigkeit die Stelle des feuchten Leiters vertritt. Wegen der großen Zahl der Plattenpaare ist die elektrische Spannung an den Polen dieser Säule eine außerordentlich hohe. Sie liefert darum auch sehr kräftige mechanische Wirkungen und empfiehlt sich ganz besonders, wo es gilt, äußerst schwache elektrische Spannungen nachzuweisen. Zu diesem Zwecke wendet man gewöhnlich eine liegende, in eine Glasröhre luftdicht eingeschlossene Zamboni'sche Säule an (Fig. 137), von deren Polen zwei Drähte ausgehen, die in zwei einander gegenüberstehende Metallplatten (a und b) enden. Zwischen beiden hängt ein schmales Goldblättchen (c) herab, das für gewöhnlich, von beiden Platten gleich stark angezogen, in Ruhe bleibt. Bringt man aber mit diesem Goldblättchen oder dem knopf- oder scheibenförmigen Ende des Stabes, an welchem es hängt, einen noch so schwach elektrisirten Körper in Berührung, so wird das

Fig. 137.



Blättchen jetzt von der einen Polplatte angezogen, von der andern abgeſtoßen und zeigt durch ſeinen Ausſchlag die Elektricität des zu prüfenden Körpers an. Bei der großen Empfindlichkeit dieſes Apparats muß er ſich natürlich unter einer Glasglocke befinden, damit jeder Luftzug abgehalten wird.

Die Wirkungen des Galvanismus.

Was in der erſten Zeit nach der Entdeckung des Galvanismus am meiſten die Aufmerkſamkeit feſſelte, waren die Wirkungen desſelben auf den thieriſchen und menſchlichen Körper, dieſelben alſo, welche auch ſeine Entdeckung veranlaßt hatten. Dieſe Wirkungen äußern ſich zunächſt in Muskelzuckungen oder in erſchütternden Schlägen, welche man empfindet, wenn man entweder mit feuchten Händen die beiden Pole einer galvaniſchen Säule berührt, oder wenn man die Hände in zwei mit geſäuertem Waſſer gefüllte Gefäße taucht, in welche die beiden Poldrähte geleitet ſind. Man erhält dieſen erſchütternden Schlag, ſo oft man die Kette ſchließt oder öffnet. Bewirkt man daher durch irgend eine Vorrichtung ein raſch auf einander folgendes Oeffnen und Schließen der Kette, ſo kann man die phyſiologiſchen Wirkungen derſelben außerordentlich ſteigern. Eine ſolche Vorrichtung iſt das ſogenannte Reef'ſche Blitzrad, eine kupferne Scheibe, die an ihrem Rande rechteckige, mit Ebenholz ausgelegte Einſchnitte hat und ſich um eine metallene Axe raſch drehen läßt. Die Axe des Rades ſteht mit dem einen Pole der Batterie in Verbindung, während ein mit dem andern Pole verbundener Kupferdraht auf dem Rande der Scheibe aufliegt und bei der Umdrehung derſelben alſo bald mit dem Holze, bald mit dem Metall in Berührung kommt, die Kette bald öffnet, bald ſchließt. Schaltet man in dieſe Kette irgend eine Stelle des menſchlichen Körpers ein, ſo können ſelbſt bei einer an ſich ſchwachen Batterie die Erſchütterungen durch ihre Aufeinanderfolge bis zum Unerträglichen geſteigert werden. Selbſt in todten Körpern, in denen Muskeln und Nerven noch nicht ihre Reizbarkeit ganz verloren haben, können heftige Zuckungen durch den galvaniſchen Strom erregt werden. Die Zuckungen von Froſchſchenkeln lenkten ja zuerſt den Blick auf dieſe elektriſche Kraft, und im Anfange unſeres Jahrhunderts fand man ein beſonderes Vergnügen darin, die furchtbarſten Geſichtsverzerrungen, ſelbſt Athmungsbewegungen an den Körpern eben Hingerichteter hervorzurufen.

Auch auf die empfindlicheren Sinnesnerven, namentlich des Gesichts, Geschmacks und Gehörs, wirkt der galvanische Strom ein. Legt man ein Silberstück unter die Zunge oder an das Zahnfleisch, einen Zinkstreifen auf die obere Fläche der Zungenspitze, und bringt dann beide Metalle an ihren vorderen Enden mit einander in Berührung, so empfindet man einen stechend säuerlichen Geschmack; kehrt man die Ordnung um, legt man das Silber auf die Zunge, das Zink an das Zahnfleisch, so empfindet man einen eigenthümlich laugenartigen Geschmack. Bringt man in ähnlicher Weise das eine Metall, etwa das Ende eines silbernen Löffels, mit dem inneren Augenwinkel oder dem angefeuchteten Augenlide, das andere, einen Zinkstreifen, mit der Zunge in Berührung, so empfindet man beim Schließen der Kette außer dem eigenthümlichen Geschmack auch einen Lichtblitz. Bringt man den einen Poldraht einer aus zahlreichen Elementen bestehenden Batterie in das Ohr, während man den andern mit der angefeuchteten Hand hält, so vernimmt man ein sonderbares sausendes Geräusch. Nur der Geruchssinn scheint durch den galvanischen Strom nicht in besonderer Weise erregt zu werden.

Eine weit höhere Bedeutung aber als diese physiologischen Wirkungen haben die Wärme- und Lichterscheinungen der galvanischen Batterie gewonnen. Wie bei der Entladung einer elektrischen Flasche, zeigen sich auch bei jedem Schließen und Oeffnen einer galvanischen Kette Funken. Davy gelang es, dieses Licht zu einer außerordentlichen Intensität zu steigern, indem er den galvanischen Strom zwischen zwei Kohlenspitzen übergehen ließ, welche bis auf einen kleinen Abstand einander genähert sind. Davy benutzte zur Darstellung dieses Lichtes eine gewöhnliche Volta'sche Säule von 2000 Plattenpaaren. Bei Anwendung sehr kräftiger Batterien, etwa aus 30 bis 50 Grove'schen oder Bunsen'schen Elementen bestehend, erhält man ein Licht von solchem Glanze, daß es bei weitem das bekannte Drummond'sche Kalklicht übertrifft. Der praktischen Anwendung dieses Lichts aber stehen manche Schwierigkeiten entgegen, einmal seine Kostspieligkeit, dann der Umstand, daß die Kohlenspitzen, auch wenn sie aus guter Gaskohle bereitet sind, allmälig verzehrt werden und daher eines Regulators bedürfen, der sie immer wieder bis zu dem erforderlichen Abstande einander nähert. Gleichwohl hat man es bereits in Paris während nächtlicher Bauten zur Beleuchtung von Straßen benutzt. Ebenso ist es auf Leuchtthürmen angewandt worden, und manche Leser werden auch Gelegenheit gehabt haben, es in der aufgehenden Sonne in Meyerbeer's

Propheten auf dem Theater zu bewundern, wo es in dem Brennpunkt eines neusilbernen paraboliſchen Brennſpiegels ſtrahlte.

Weit nützlichere Verwendung hat die Wärmewirkung des galvaniſchen Stromes gefunden. Da ein kurzer dünner Draht, welcher zwiſchen die Enden der beiden Poldrähte einer galvaniſchen Batterie eingeſchaltet wird, beim Schließen derſelben ſich bis zum Erglühen und ſelbſt Schmelzen und Verbrennen erhitzt, ſo erhält man dadurch ein Mittel, Pulver, z. B. zum Zwecke einer Sprengung, aus weiter Ferne zu entzünden. Man hat nur in der zu entzündenden Patrone einen feinen Draht anzubringen und deſſen Enden mit zwei ſtärkeren, hinreichend langen Drähten zu verbinden. Schließt man dann die Kette, indem man die beiden Drähte mit den beiden Polen einer galvaniſchen Batterie in Berührung bringt, ſo erfolgt ſofort die Entzündung des Pulvers durch den erglühenden feinen Draht.

Die bei weitem wichtigſte unter den Wirkungen des galvaniſchen Stroms, ſowohl was ihre praktiſche Verwerthung, als was ihre Bedeutung für die Theorie betrifft, iſt die chemiſche. Schon im Jahre 1800 entdeckten zwei engliſche Phyſiker, Nicolſon und Carlisle, die galvaniſche Zerſetzung des Waſſers, von deſſen Elementen das eine, der Sauerſtoff, ſich am poſitiven, das andere, der Waſſerſtoff, ſich am negativen Pole abſcheidet. Man kann beide Gaſe getrennt erhalten, wenn man die beiden aus Platin beſtehenden Poldrähte durch den Boden eines mit Waſſer gefüllten Gefäßes hindurchführt und über jeden ein umgekehrtes, gleichfalls mit Waſſer gefülltes Glaskölbchen ſtellt. Am beſten verſieht man die Enden der Platindrähte mit Platten von Platinblech, da die Waſſerzerſetzung um ſo lebhafter wird, je größer die Berührungsfläche iſt, die dem Waſſer dargeboten wird. Ebenſo wirkt eine Anſäuerung des Waſſers auf Vermehrung der Gasmengen, da ſie die Leitungsfähigkeit des Waſſers vermehrt. Daß die Poldrähte aus Platin oder überhaupt einem edlen Metalle beſtehen müſſen, iſt ſelbſtverſtändlich, da bei unedlen Metallen am poſitiven Pole ſofort eine Verbindung mit dem entwickelten Sauerſtoffe eintreten, man alſo nicht freies Sauerſtoffgas, ſondern nur das Oxyd jenes Metalles erhalten würde. Eben dieſe Waſſerzerſetzung iſt es nun, welche die Wirkſamkeit einer Volta'ſchen Säule oder einer gewöhnlichen galvaniſchen Batterie ſo bald ſchwächt. Sie findet ja auch in jeder einzelnen Zelle, in jedem einzelnen Plattenpaare ſtatt und bewirkt einerſeits die Oxydation des elektropoſitiven Metalls, des Zinkes, und die Auflöſung des Zinkoxydes in der Säure, andererſeits die Bedeckung des elektro-

negativen Metalls mit einer Wasserstoffschicht, welche die Berührung mit der Säure aufhebt.

Die galvanische Zersetzung des Wassers machte es nicht nur wahrscheinlich, daß auch andere chemische Verbindungen durch den galvanischen Strom zerlegt werden könnten, sondern erweckte auch die Hoffnung, daß sogar manche bisher für unzerlegbar gehaltene Stoffe auf diesem Wege in ihre Bestandtheile zerfällt werden möchten. Sie verwirklichte sich in der That in Davy's glänzender Entdeckung, die eine neue Epoche für die Chemie heraufführte. Davy zerlegte im Jahre 1807 die bisher für Elemente gehaltenen Alkalien und Erden und entdeckte eine Reihe neuer eigenthümlicher Metalle: Kalium, Natrium, Calcium, Baryum, Magnesium, Aluminium ꝛc. Davy wandte bei seinen Versuchen einen Trogapparat von 250 Plattenpaaren an; gegenwärtig genügt eine Säule von 10 bis 12 Bunsen'schen Elementen. Verbindet man den positiven Poldraht einer solchen Säule mit einem Silber- oder Platinbleche, worauf ein Stück angefeuchteten Kali's liegt, und berührt dann dieses Kali mit dem negativen Poldrahte, so erscheinen sehr bald um den Draht kleine metallglänzende Kügelchen des Kalium-Metalls, welche aber unter Steinöl aufgefangen und aufbewahrt werden müssen, wenn sie sich nicht ihrer außerordentlichen Verwandtschaft zum Sauerstoffe wegen sehr schnell wieder an der Luft oxydiren und verschwinden sollen. Die luftbeständigeren dieser neuen Metalle, namentlich das Thonerdemetall oder Aluminium und das Bittererdemetall oder Magnesium, haben bekanntlich schon einige praktische Bedeutung erlangt, das erstere seiner Leichtigkeit wegen als Ersatz für Eisen und Silber, das letztere des überaus glänzenden und kräftig chemisch wirksamen Lichtes wegen, mit welchem es verbrennt.

Wie die Oxyde, werden auch die Salze durch den galvanischen Strom zersetzt. Bei Alkalisalzen scheidet sich die Säure am positiven, die Base am negativen Pole ab. Man kann sich davon sehr leicht selbst mit dem Auge überzeugen, wenn man eine Uförmig gebogene Glasröhre mit einer Salzlösung, etwa Glaubersalz, füllt, die durch Malventinctur oder einen Auszug von Veilchenblättern violett gefärbt ist, und dann die eine Polplatte von der einen, die andere von der andern Seite eintaucht. Nach einiger Zeit wird man die Flüssigkeit in demjenigen Schenkel, in welchem sich die positive Polplatte befindet, sich roth, in dem andern grün färben sehen. In dem einen Schenkel hat die sich ansammelnde Säure, in dem andern die Base diese Far-

benwandlung bewirkt. Vertauscht man die Poldrähte, so stellt sich zunächst die violette Färbung in beiden Schenkeln wieder her, geht aber dann in demjenigen Schenkel, welcher vorher roth gefärbt war, in Grün, in dem andern in Roth über.

Bei der galvanischen Zersetzung von Metallsalzen findet nicht eine solche Scheidung in Säure und Basis statt. Hier geht vielmehr die Zersetzung weiter, und auch das Oxyd wird, wegen der unzureichenden Verwandtschaft des Metalls zum Sauerstoffe, zerlegt, so daß sich am negativen Pole das Metall selbst, am positiven der Sauerstoff abscheidet, während die Säure in der Flüssigkeit gelöst bleibt. Auf diese Abscheidung reguliniſchen Metalles durch den galvanischen Strom gründet sich die wichtige Entdeckung der Galvanoplastik, die im Jahre 1838 fast gleichzeitig von Jacobi und Spencer gemacht wurde. Es ist die Kunst, mittelst eines galvanisch niedergeschlagenen Metalles, namentlich Kupfer, Abdrücke von beliebigen Formen darzustellen. Wir werden auf diese interessante Anwendung des galvanischen Stroms, mit welcher auch die galvanische Versilberung und Vergoldung zusammenhängt, bei einer späteren Gelegenheit zurückkommen, wo es sich um die Umwandlung der elektrischen Bewegung in chemische Processe handeln wird. Hier müssen wir uns mit der bloßen Erwähnung der Erscheinungen begnügen, so weit sie sich als Wirkungen des Galvanismus darbieten.

Zu solchen Erscheinungen gehören auch die sogenannten Metallvegetationen. Wenn man nämlich in eine verdünnte Auflösung von Bleizucker oder essigsaurem Bleioxyd einen Zinkstab taucht, so scheidet sich wegen der größeren Verwandtschaft des Zinks zum Sauerstoffe metallisches Blei ab, das nun mit dem Zink und der Flüssigkeit eine galvanische Kette bildet. Da aber das Blei in Berührung mit dem Zink negativ, das Zink positiv elektrisch wird, so scheidet sich in der fortschreitenden Zersetznng das Blei nicht mehr am Zink, sondern an den Spitzen des bereits reducirten Bleies ab, das durch diese beständigen Ansätze gleichsam zu einem verzweigten Bleibaume heranwächst. In ganz ähnlicher Weise und noch schöner erhält man eine Silbervegetation, den sogenannten Dianenbaum, wenn man in eine Auflösung von salpetersaurem Silberoxyd einige Tropfen Quecksilber bringt. Eine sehr schöne Erscheinung gewährt auch die Reduction des Zinns aus einer concentrirten, mit etwas Salzsäure angesäuerten Auflösung von Zinnchlorür, wenn man einen blanken Zinkstab oder noch besser zwei *Platindrähte*, die mit den Polen einer galvanischen Batterie verbunden

sind, hineintaucht. Das Zinn scheidet sich dann in großen glänzenden Krystallblättchen ab.

Manche solcher galvanischen Metallniederschläge geben, wenn sie hinreichend dünne Schichten bilden, Veranlassung zu prachtvollen Farbenerscheinungen. Man erhält sie schon, wenn man auf eine blanke Silberplatte einige Tropfen einer Auflösung von essigsaurem Bleioxyd bringt und dann mit einem zugespitzten Zinkstäbchen das Silber berührt. Es sind die schönen Nobili'schen Farbenringe, die sich dann auf der Platte bilden, und die man bekanntlich in neuerer Zeit vielfach zur Verzierung von Metallwaaren, z. B. Tischglocken, benutzt. Vollkommener und prachtvoller erhält man diese Farbenringe freilich, wenn man die Platte, auf welcher sie sich bilden sollen, mit dem positiven Pole einer galvanischen Kette verbindet und statt der Bleizuckerlösung eine Auflösung von Bleiglätte in Aetzkalilauge anwendet. Uebrigens besteht die zarte Niederschlagsschicht, welche diese schönen Farbenringe bildet, nicht aus metallischem Blei, sondern aus Bleisuperoxyd, das sich unter dem oxydirenden Einflusse des am positiven Pole abgeschiedenen Sauerstoffs gebildet hat.

Die chemischen Wirkungen des galvanischen Stromes können, obwohl sie im Wesentlichen nur Zersetzungen, also Zerstörungen sind, doch von großem Nutzen werden, wo es gilt, Metalle vor der Zerstörung zu schützen. Die Oxydation findet ja immer nur an dem positiven Pole einer galvanischen Kette statt. Kann man also ein Metall zum negativen Pole einer solchen Kette machen, so muß es vor den Angriffen einer Säure oder andern Flüssigkeit, die es sonst zerstören würde, geschützt bleiben. Dies geschieht aber, wenn man das Metall mit einem noch mehr elektropositiven in Berührung bringt. Eine Kupferplatte, die man in Salzwasser taucht, wird sehr bald davon angefressen; bringt man aber das Kupfer zugleich in Berührung mit etwas Zink oder Eisen, so werden diese Metalle zerstört, das Kupfer aber verschont. Davy hat gefunden, daß ein Stück Zink von der Größe eines Nagelknopfes hinreicht, um 40—50 Quadratzoll Kupfer zu schützen. Sein Vorschlag, den Kupferbeschlag der Schiffe in dieser Weise durch Streifen von Zink oder Eisen zu schützen, hat sich leider praktisch nicht durchführen lassen, weil es sich zeigte, daß das Kupfer bis zu einem gewissen Grade angefressen sein muß, wenn es nicht durch Anhängen von Seegras und Schalthieren verunreinigt werden soll. Wohl aber hat sich dieses Schutzmittel bei eisernen Pfannen anwenden lassen, in denen Salzsoole versotten wird. Wenn man die Ecken der-

ſelben durch ein Brett abſcheidet und die ſo gebildeten Kammern mit Zink ausgießt, ſo dringt hinreichend Flüſſigkeit durch das Holz hindurch zum Zink, das ja zugleich mit dem Eiſen der Pfanne in Berührung iſt, und ſchließt ſo eine galvaniſche Kette, deren Thätigkeit das Eiſen vor der Zerſtörung ſchützt, während das durch die Auflöſung des Zinks gebildete Zinkſalz durch das Holz verhindert wird, die Salzſoole zu verunreinigen. Man erreicht dadurch den bedeutenden Vortheil, daß man die Verdampfung bei niederer Temperatur vornehmen kann und ſo Brennmaterial erſpart.

Auf derſelben Wirkung des galvaniſchen Stromes beruht der Schutz, welchen der dünne Ueberzug von Zink dem ſogenannten galvaniſirten Eiſen gegen das Roſten gewährt. Ebenſo können ſtählerne Nähnadeln durch Beimengung kleiner Stückchen Zink gegen den Roſt bewahrt werden. Umgekehrt aber leidet Eiſen ſehr leicht, wenn es mit Kupfer in Berührung iſt, beſonders in der Näſſe; und Dachbedeckungen von Zink dürfen nicht mit eiſernen oder kupfernen Nägeln befeſtigt werden, wenn ſie nicht ſchnell von der Feuchtigkeit zerfreſſen werden ſollen.

Viertes Kapitel.

Der Elektromagnetismus.

Der Oerſted'ſche Fundamentalverſuch.

Die Entdeckungen Galvani's und Volta's hatten der Elektricität die allgemeine Aufmerkſamkeit zugewandt und alle Forſcher der Welt zu Verſuchen und Beobachtungen angeregt. Es konnte darum auch gar nicht fehlen, daß man ſehr bald auch gewiſſe Beziehungen zwiſchen der Elektricität und dem Magnetismus auffand, und daß namentlich die unverkennbare Aehnlichkeit in den Erſcheinungen und Geſetzen beider Naturkräfte, wie ſie ſich in Anziehung und Abſtoßung, in der Polarität, in der Licht- und Wärmeentwicklung zeigte, zu weiteren Gedanken über den Zuſammenhang ihres Weſens veranlaßte. Man beſaß ſogar bereits zahlreiche Erfahrungen über die Einwirkung des Blitzſchlags auf die Compaßnadeln der Schiffe; man wußte, daß der Blitz, deſſen elektriſche Natur ja von Franklin ſo unzweifelhaft nachgewieſen war,

geradezu die Magnetnadel umzukehren, ihr Nordende nach Süden zu richten vermochte. Franklin hatte überdies bereits Stahlnadeln, durch welche er der Länge nach starke elektrische Ladungen hindurchgehen ließ, in künstliche Magnete verwandelt. Man sollte meinen, alles dies hätte unmittelbar zur Entdeckung des wirklichen Zusammenhanges zwischen Elektricität und Magnetismus führen müssen, und es hätte kaum dazu noch etwas Andern bedurft, als einer klaren und denkenden Auffassung der vorliegenden Thatsachen. Nichtsdestoweniger gab man sich lange Zeit umgekehrt alle Mühe, jene beiden Erscheinungsgebiete auseinander zu halten, ihre Ursachen als gänzlich verschieden, ihre nicht zu leugnenden Aehnlichkeiten als nur scheinbare darzustellen. Man verstand einfach die Sprache der Natur in diesen Erscheinungen noch nicht. Gerade die Hauptsachen übersah man. Daß der Blitz den Compaß nicht zertrümmert hatte, daß die elektrische Entladung also nicht durch die Magnetnadel, sondern neben ihr vorbei gegangen war, erschien als völlig unwesentlich und gleichgültig; man sah darin nur einen neuen Beweis von der außerordentlichen Kraft des Blitzes, der auch in der Entfernung solche Wirkungen erzeugen könne. Man glaubte, gerade recht einfach und natürlich zu Werke zu gehen, wenn man den Magnetismus als eine ebenso selbstständige Naturkraft, wie die Elektricität, festhielt, und wenn man ebenso zwei magnetische, wie zwei elektrische Fluida in den Körpern annahm. Wie freilich diese Flüssigkeiten auf einander einwirken sollten, das blieb eine Frage, die Niemand zu beantworten vermochte, wenn er nicht zu thatsächlichen Wundern seine Zuflucht nehmen wollte.

Beseelt von dem Gedanken einer ewigen Einheit der Natur ahneten allerdings bereits einzelne heller sehende Männer den innigeren Zusammenhang jener Kräfte. Sie gedachten der weisen Regel des großen Newton: „Für die Erklärung der natürlichen Dinge darf man nicht mehr Gründe annehmen, als wahr sind und für diese Erklärung genügen. Denn die Natur thut nichts vergebens; sie ist einfach und hat nicht Ueberfluß an Ursachen für die Erscheinungen."

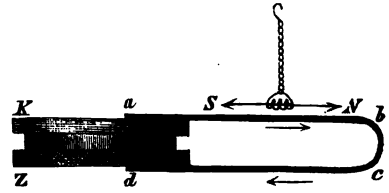
In Keinem war jener Gedanke der Einheit aller Naturkräfte fester und klarer geworden, als in dem dänischen Naturforscher Christian Oersted. Ihm galt schon längst der Magnetismus nur als eine verborgene Form der Elektricität. Aber was bis dahin nur als Vermuthung in ihm gelebt hatte, machte das Jahr 1820 zur Gewißheit, indem es ihn zu einer jener Entdeckungen führte, welche die gesammte Welt, nicht blos die Systeme und Theorien der Gelehrten, erschütterte.

und umgestalten und dem Entdecker den Ruhm der Unsterblichkeit sichern. Er selbst nannte das Jahr 1820 „das glücklichste seines Lebens."

Jahre lang müht sich oft der Mathematiker mit der Lösung eines schwierigen Problems ab; da, in einer glücklichen Stunde, durchzuckt plötzlich ein Blitz sein Hirn, und wie von Geisterhand geschrieben steht das lange gesuchte Resultat vor seiner Seele. Mitten in den Freuden der Tafel, mitten im Schlafe überrascht oft den Dichter seine Muse; er springt auf, um auf das Papier zu bringen, was ihm mit so unabweisbarer Gewalt zuströmt, daß kaum die Feder dem Schwunge der Gedanken zu folgen vermag. Solch ein Moment war es auch, der Oersted überkam. Mitten in einer Vorlesung durchbrach das Licht die Schleier seiner Ahnung, und von Begeisterung erfüllt, unterbrach er seinen Vortrag, um sogleich in Gegenwart seiner Zuhörer den ersten Versuch zur Prüfung seines Gedankens anzustellen. Er entdeckte die Ablenkung der Magnetnadel durch die Nähe eines elektrischen Stromes. In wenigen Monaten war der Elektromagnetismus oder das Gesetz der Wechselwirkung zwischen elektrisirten Körpern und Magneten eine allgemein anerkannte Thatsache, und in wenigen Jahren war das Gebiet seiner Erscheinungen durch die begeisterte Thätigkeit aller Physiker in einer Ausdehnung durchforscht und erweitert, wie es selten einer neuen Entdeckung zu Theil ward.

Die neuentdeckte Thatsache war keine andere, als die, daß um einen elektrischen Leiter immer auch ein magnetischer Kreislauf stattfindet, und daß ein elektrischer Strom stets nach bestimmtem Gesetze auf die Richtung der Magnetnadel bestimmte und gleichartige Wirkungen ausübt. Ein einfaches Plattenpaar, oder eine Zink- und eine Kupferplatte, die in eine verdünnte Säure getaucht werden, genügt schon, einen Strom zu erzeugen, der, wenn der Schließungsdraht (abcd in Fig. 138) in geringer Entfernung über oder unter oder neben einer Magnetnadel vorbeiführt, dieselbe nach rechts oder nach links, je nach der Richtung des Stroms und der Lage der Nadel, abzulenken vermag. Befindet sich der Leitungsdraht unterhalb der Magnetnadel (SN), so wird das

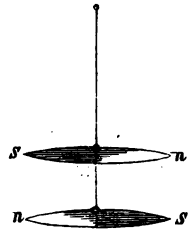
Fig. 138.



Nordende der Magnetnadel, wenn der positive Strom von a nach b, also von Süden nach Norden geht, nach Osten, das Südende nach Westen abgelenkt. Die Ablenkung tritt im Augenblicke ein, wo die Kette geschlossen wird, und die Nadel beharrt nach einigen Schwankungen in dieser abgelenkten Lage, so lange die Kette geschlossen bleibt. Geht der elektrische Strom neben der Nadel vorbei, so hebt oder senkt sich das Nordende derselben. Ampère hat in sehr anschaulicher Weise das allgemeine Gesetz dieser Ablenkungen ausgedrückt. Man denke sich nämlich in den vom elektrischen Strome durchlaufenen Leitungsdraht eine menschliche Figur so gelegt, daß der positive Strom bei den Füßen ein- und am Kopfe austritt, und daß das Gesicht der Figur stets der Magnetnadel zugewandt bleibt; dann wird stets das Nordende der Nadel nach links, das Südende nach rechts abgelenkt.

Die Größe der ablenkenden Wirkung des elektrischen Stromes auf die Magnetnadel läßt sich allerdings aus diesem Versuche nicht richtig beurtheilen. Die Nadel steht ja unter dem Einflusse zweier ihre Richtung bestimmenden Kräfte, des ablenkenden Stromes und der Kraft des Erdmagnetismus. Will man daher erfahren, in welche Lage die Einwirkung des elektrischen Stromes allein die Magnetnadel zu versetzen vermag, so muß man die Einwirkung des Erdmagnetismus auf dieselbe beseitigen. Das kann aber durch die Vorrichtung der sogenannten astatischen Doppelnadel geschehen. Man verbindet nämlich zwei Magnetnadeln, deren gleichnamige Pole entgegengesetzt liegen, fest mit einander (Figur 139). Führt man über oder unter einer solchen Doppelnadel einen elektrischen Strom hin, so kommt dieselbe stets erst in einer Lage zur Ruhe, welche mit der Richtung des Stromes einen rechten Winkel bildet. Ueberhaupt also strebt der elektrische Strom, jede in seiner Nähe befindliche Magnetnadel in eine Lage zu bringen, welche auf seine eigene Richtung senkrecht ist. Jede schiefe Lage deutet auf eine Mitwirkung des Erdmagnetismus.

Fig. 139.

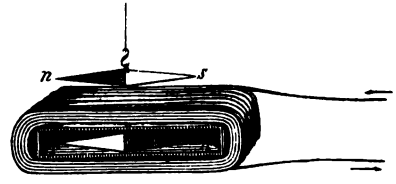


Der Multiplicator und das Ohm'sche Gesetz.

Einer neuen Entdeckung gegenüber verliert sich bisweilen die Forschung in unfruchtbare Vermuthungen über das Wesen der neuen

Erscheinung und der zu Grunde liegenden Kraft. Die Oersted'sche Entdeckung sollte ganz andere Folgen haben; die kürzeste Zeit genügte, um praktische Früchte, zunächst wenigstens auf dem wissenschaftlichen Gebiete, von ihr ernten zu lassen. Noch in demselben Jahre machte Arago die Bemerkung, daß der Schließungsdraht einer galvanischen Säule, wenn ein starker elektrischer Strom hindurchgeht, wie der Magnet Eisenfeile anzieht; und Ampère zog daraus den Schluß, daß sich Magnete erzeugen lassen müssen, wenn man statt eines geradlinigen Drahtes einen spiralförmig gewundenen anwende, in dessen Axe man eine Stahlnadel bringe. In der That erzeugte man sehr bald auf diese Weise künstliche Magnetnadeln. Aber weit wichtiger noch war die Anwendung, zu welcher die magnetischen Eigenschaften des spiralförmig gewundenen Drahtes Schweigger in Halle veranlaßten, nämlich die zur Verstärkung der magnetischen Wirkung eines schwachen elektrischen Stromes. Er wand einen Kupferdraht, den er mit Seide überspann, damit seine Windungen einander nicht berührten, über einen hölzernen Rahmen, in welchem eine Magnetnadel schwebte, und da er dabei eine der Anzahl der Windungen wenigstens annähernd entsprechende Verstärkung des Stromes erhielt, so nannte er diese Vorrichtung den Multiplicator. Man gewann dadurch ein Mittel, die Entwicklung von Elektricität selbst in Fällen zu beobachten, wo man es bisher, der schwachen Wirkungen wegen durchaus nicht vermocht hatte, und zugleich die Stärke des galvanischen Stromes an der Größe der Ablenkung der Magnetnadel zu messen. Schweigger nannte daher das Instrument auch Galvanometer. Nobili hat später die Empfindlichkeit desselben für solche Messungen noch dadurch erhöht, daß er statt der einfachen Nadel eine astatische Doppelnadel in Anwendung brachte und so die Einwirkung des Erdmagnetismus beseitigte. Die eine Nadel befindet sich dabei innerhalb, die andere oberhalb der Windungen des Multiplicatordrahtes (Fig. 139), so daß beide Nadeln von einem den Draht durchlaufenden Strome stets in gleichem Sinne abgelenkt werden.

Fig. 139.



Von welcher Empfindlichkeit dieses Instrument ist, bezeugen die

Beobachtungen, die man mit seiner Hülfe an Metallen gemacht hat, wenn sie eine Zeit lang mit einer Flüssigkeit in Berührung gewesen sind, die durch einen elektrischen Strom zersetzt wurde. Taucht man z. B. zwei Platindrähte in die beiden Schenkel einer mit gesäuertem Wasser gefüllten Uförmigen Röhre und verbindet diese Drähte mit den Polen einer galvanischen Säule, hebt dann aber, nachdem der elektrische Strom eine Zeit lang durch die Flüssigkeit hindurchgegangen, die Verbindung der Drähte mit der Säule auf, so zeigen dieselben, wenn man sie nun mit den Drähten eines Multiplicators verbindet, durch die Ablenkung der Magnetnadel die Anwesenheit eines Stromes in ihnen an, welcher die entgegengesetzte Richtung des ursprünglich durch die Flüssigkeit geleiteten hat. Auch in der Flüssigkeit selbst findet ein solcher schwacher und entgegengesetzter Strom statt, wenn man sie außer Verbindung mit der galvanischen Säule gesetzt hat und dafür die Drähte des Multiplicators unmittelbar hineintaucht. Diese elektrischen Ströme, welche zu erregen Flüssigkeit und Metalle erst nach einiger Zeit die Fähigkeit verlieren, sind keineswegs Ueberreste des ursprünglich durch die galvanische Säule erregten Stromes, was schon durch die entgegengesetzte Richtung angezeigt wird. Ihre Veranlassung liegt vielmehr in der Zersetzung der Flüssigkeit, insbesondere des Wassers, dessen getrennte Bestandtheile, Sauerstoff und Wasserstoff, sowohl durch die Flüssigkeit verbreitet sind, als an den Poldrähten haften bleiben, und die nun nach Aufhören des elektrischen Stromes durch ihre Wiedervereinigung den entgegengesetzten Strom erregen. Man nennt diese Erscheinung die elektrische Polarisirung, und sie ist es, durch welche sich die allmälig eintretende Schwächung der elektrischen Wirkung gewöhnlicher galvanischer Ketten und Batterien erklärt.

Die Empfindlichkeit dieses Multiplicators hat aber noch eine andere wichtige Bedeutung durch die feinen Messungen, welche sie ermöglicht hat. Sie hat zur Auffindung eines Gesetzes über die Beziehungen geführt, welche zwischen der Stärke eines elektrischen Stromes und der elektromotorischen Kraft der galvanischen Batterie einerseits, dem Leitungswiderstande andererseits bestehen. Dieses Gesetz, welches zuerst von Ohm in Erlangen im Jahre 1827 nachgewiesen ist und daher den Namen des Ohm'schen Gesetzes führt, lautet: Die Stärke des elektrischen Stromes ist der elektromotorischen Kraft der galvanischen Batterie direct und der Summe aus dem Leitungswiderstande, welchen der Strom in der Batterie, und dem Leitungswiderstande, welchen er im Schließungsbogen erleidet, umgekehrt proportional.

Der Leitungswiderſtand ſelbſt hängt zunächſt von der Natur des leitenden Körpers ab. Die größte Leitungsfähigkeit beſitzen die Metalle, namentlich Silber und Kupfer. Wenn man die Leitungsfähigkeit des Kupfers mit 100 bezeichnet, ſo iſt die des Silbers = 149, die des Meſſings aber nur = 28, des Eiſens = 18, des Platins = 16. Weit geringer iſt das Leitungsvermögen der Flüſſigkeiten, namentlich des Waſſers. Obgleich ein Zuſatz von Säuren die Leitungsfähigkeit des Waſſers vermehrt, ſchätzt Pouillet doch die eines ſchwach geſäuerten Waſſers als 770 Millionenmal geringer, als die des Kupfers.

Der Leitungswiderſtand hängt dann aber auch von der Länge und Dicke der Leitung ab. Er wächſt im gleichen Verhältniſſe mit der Länge, im umgekehrten mit der Dicke oder dem Querdurchſchnitte. Der Strom erleidet alſo den meiſten Widerſtand beim Durchgange durch den flüſſigen Leiter, wenn er durch einen ſehr kurzen und dicken Draht geſchloſſen iſt. Der Widerſtand aber wird verringert, wenn man die Berührungsflächen, alſo die Polplatten vergrößert, und wenn man dieſe einander in der Flüſſigkeit nähert.

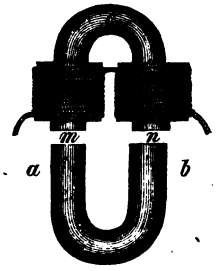
Die elektromotoriſche Kraft endlich iſt theils von der Zahl der Elemente abhängig, welche die Batterie zuſammenſetzen, theils von dem elektriſchen Gegenſatze der Glieder, welche die einzelne Kette bilden. Eine Kette aus Zink und Kohle oder Zink und Platin giebt eine ſtärkere Wirkung, als eine ſolche aus Zink und Kupfer. Da mit der Vermehrung der Elemente aber auch der Leitungswiderſtand wächſt, den der Strom innerhalb der Batterie erfährt, ſo kann eine ſolche eine erhebliche Verſtärkung des Stromes nur dann zur Folge haben, wenn die Batterie durch einen ſehr langen Draht, wie beim elektriſchen Telegraphen, oder durch einen ſehr dünnen Draht, wie bei Glühverſuchen, geſchloſſen wird, oder wenn man ihn durch Flüſſigkeiten, wie bei chemiſchen Zerſetzungen, oder durch den menſchlichen Körper, wie bei phyſiologiſchen Verſuchen, leitet, kurz, wenn er den bedeutendſten Widerſtand in dem Schließungsbogen erfährt, ſo daß eine Vermehrung des Widerſtandes in den Batterien dagegen nicht in Betracht kommt.

Elektromagnete.

Wenn der elektriſche Strom auf den Magnetismus der Magnetnadel einwirkt, ſo läßt ſich von vornherein faſt mit Beſtimmtheit erwarten, daß er auch auf unmagnetiſches Eiſen magnetiſche Wirkungen ausüben werde. In der That beruht ja die von Arago beobachtete An-

ziehung von Eisenfeile durch elektrische Leitungsdrähte allein auf ihrem magnetischen Zustande. Umwickelt man daher einen Eisenstab mit einer Spirale von starkem Kupferdrahte, dessen Windungen durch Uebersponnen mit Seide gegen einander isolirt sind, und verbindet man dann die Enden dieser Spirale mit den Polen einer galvanischen Batterie, so zeigt das Eisen während der Dauer des Stromes einen außerordentlich starken Magnetismus. Gewöhnlich giebt man solchen Elektromagneten die Form eines Hufeisens, damit die beiden Pole desselben (m und n, Fig. 140) einander in Ausübung der Tragkraft unterstützen können. Im Allgemeinen kann man durch Anwendung kräftigerer Ströme und Vermehrung der Zahl der Drahtwindungen den Magnetismus verstärken. Versuche haben sogar ergeben, daß die Tragkraft eines Elektromagneten im quadratischen Verhältnisse zu der Stromstärke und zu der Zahl der Windungen der umgebenden Spirale wächst. Da jedoch mit der Zahl der letztern auch der Leitungswiderstand zunimmt, so muß man natürlich in demselben Verhältnisse den Querdurchschnitt des Drahtes vermehren, in welchem man die Länge desselben vergrößert hat. Es ist in dieser Weise gelungen, Elektromagnete herzustellen, welche 2000 bis 3000 Pfund zu tragen im Stande sind.

Fig. 140.



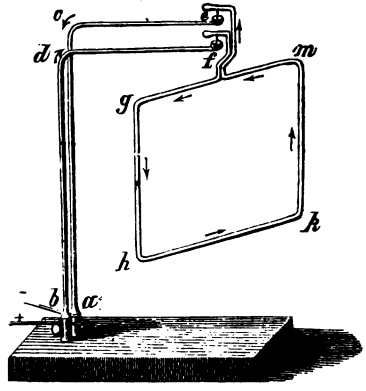
Da die Lage der Pole des Magneten von der Richtung des Stromes in den Drahtwindungen abhängt, durch welchen der Magnetismus erregt wird, so braucht man nur die Verbindung der Drahtenden mit den Polen der galvanischen Batterie zu wechseln, um jeden Augenblick die magnetischen Pole umzukehren, den Nordpol in einen Südpol und den Südpol in einen Nordpol zu verwandeln. Dies ist freilich nur unter der Voraussetzung möglich, daß in dem Augenblicke, in welchem die galvanische Strömung unterbrochen wird, das Eisen seinen Magnetismus vollständig verliert, und daß es ihn erst wieder annimmt, wenn der Strom auf's Neue in derselben oder in der entgegengesetzten Richtung um dasselbe zu circuliren beginnt. Die Erfahrung hat indeß gelehrt, daß diese Voraussetzung nicht ganz genau zutrifft, daß der Wechsel der magnetischen Zustände vielmehr kein ganz augenblicklicher ist, sondern, daß noch eine Zeit lang im Eisenkerne ein Magnetismus zurückbleibt, der denselben sogar bei längerer Einwir-

kung nach und nach in einen wirklichen Magneten verwandeln kann. Da nun dieſes Zurückbleiben des Magnetismus mit der Maſſe des Eiſens in Zuſammenhang ſteht, ſo pflegt man, um eine raſche Folge von Unterbrechungen und Wiederherſtellungen des Stromes, alſo auch von Umkehrungen der Pole zu erlangen, ſtatt maſſiver Eiſenſtücke hohle Eiſenröhren anzuwenden.

Die gegenſeitige Wirkung elektriſcher Ströme und die Ampère'ſche Theorie.

Die Thatſache, daß der elektriſche Strom eine bewegliche Magnetnadel abzulenken und ihr eine beſtimmte Richtung zu geben vermag, weiſt offenbar auf eine gemeinſame Grundlage der elektriſchen und magnetiſchen Erſcheinungen hin. Der Magnet ſcheint ſich vollkommen wie ein elektriſcher Strom, der Strom wie ein Magnet zu verhalten. Es iſt darum auch wohl zu vermuthen, daß ein feſtſtehender Magnet im Stande ſein werde, einen beweglichen elektriſchen Strom zu richten, anziehende und abſtoßende Wirkungen auf denſelben hervorzubringen. In der That beſtätigt ein außerordentlich beweglich aufgehängter Drahtring, deſſen feine Spitzen etwa nur durch Queckſilbernäpfchen, in welche ſie tauchen, mit einer galvaniſchen Batterie in Verbindung ſtehen, dieſe Erwartung. Am beſten eignet ſich zu dieſem Nachweiſe eine Vorrichtung, die aus zwei aufrecht ſtehenden Metallſtäben (ac und bd, Fig. 141) beſteht, welche oben in zwei wagerechte Arme (ce und df) umgebogen ſind und an den Enden derſelben zwei kleine mit Queckſilber gefüllte Schälchen tragen. In dieſe Schälchen tauchen nun die in feine Stahlſpitzen ausgehenden Enden eines kreisförmig oder in Form eines Rechtecks (ghkm) gebogenen Kupferdrahtes, während die Poldrähte einer galvaniſchen Batterie mit den beiden Drahtſtäben ſelbſt bei a und b verbunden werden. Während der elektriſche Strom das Drahtrechteck durchläuft, nähert man

Fig. 141.

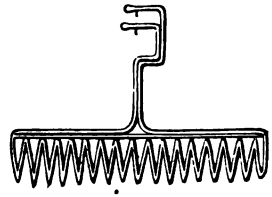


einer Seite desselben den Pol eines kräftigen Magneten. Sofort erfolgt eine Ablenkung des Rechtecks; es dreht sich um eine durch die Stahlspitzen seiner Enden gehende senkrechte Axe, und zwar in einem Sinne, welcher demjenigen entgegengesetzt ist, in welchem sich eine bewegliche Magnetnadel unter dem Einflusse des feststehenden, von demselben elektrischen Strome durchlaufenen Drahtes bewegen würde. Ist der Strom stark genug, so stellt sich das Drahtrechteck schon in Folge der Einwirknng des Erdmagnetismus genau so, daß seine wagerechten Seiten oder überhaupt seine Ebene senkrecht auf der Richtung einer Declinationsnadel steht.

Ganz dieselbe Ablenkung, wie durch die Annäherung eines Magneten, würde jenes Drahtrechteck aber auch erfahren, wenn man demselben ein anderes von Elektricität durchströmtes Drahtrechteck näherte. Es würde ebenso eine abstoßende oder anziehende Wirkung auf dasselbe äußern, je nachdem die Richtung seines Stromes die gleiche oder entgegengesetzte wäre. Ganz allgemein läßt sich nun das Gesetz aufstellen, daß zwei parallele elektrische Ströme, welche die gleiche Richtung haben, einander anziehen, zwei parallele Ströme, welche entgegengesetzte Richtungen haben, einander abstoßen, daß zwei einander kreuzende Ströme aber einander so zu stellen streben, daß sie parallel mit einander laufen.

Auf Grund dieses Gesetzes und der erwähnten Erscheinungen kann man geradezu die Behauptung aufstellen, daß der elektrische Strom völlig den Magneten vertreten könne, daß ein elektrischer Schraubendraht sich in eine Magnetnadel umwandelt und unter dem Einflusse des Erdmagnetismus ebenso gerichtet wird wie jene. Aber auch der Beweis für diese Behauptung läßt sich mit Hülfe einer Vorrichtung führen, welche Ampère das Solenoid genannt hat. Es besteht aus einem schraubenförmig gewundenen Kupferdraht (Fig. 142), dessen einzelne Windungen der größeren Festigkeit wegen mit seidenen Fädchen an ein hölzernes Stäbchen gebunden sind. Hängt man nun diesen Schraubendraht mit den an seinen Enden befindlichen Stahlspitzen in die Quecksilbernäpfchen des oben beschriebenen Apparats (Fig. 141) ein, und leitet man dann einen elektrischen Strom hin-

Fig. 142.



durch, so wird der Schraubendraht durch die Einwirkung des Erdmagnetismus gerade so gedreht, als ob er eine gewöhnliche Declinationsnadel wäre, indem seine Axe sich genau in die Ebene des magnetischen Meridianes stellt. Giebt man diesem Solenoid eine Einrichtung, daß es sich auch um eine horizontale Axe drehen kann, und stellt man es dann so, daß seine Drehung in der Ebene des magnetischen Meridians erfolgen muß, so ersetzt es auch die Inclinationsnadel und zeigt durch die Senkung seines Nordendes die magnetische Neigung an.

Ampère hat aus allen diesen Thatsachen die Folgerung abgeleitet, daß jeder Magnet gleichsam als ein Körper zu betrachten sei, dessen kleinste Theilchen von beständigen elektrischen Strömen in einer zur Axe des Magneten senkrechten Richtung umkreist werden; oder daß, wenn man diese Theilchenströme zusammenfasse, ein Magnet überhaupt zu denken sei als ein senkrecht auf seine Axe gerichteter elektrischer Kreisstrom. Aus dieser Theorie erklärt sich nun auch die Anziehung, welche zwei Magnete auf einander üben, wenn sie mit den ungleichnamigen Polen einander genähert werden, und die gegenseitige Abstoßung, welche sie bewirken, wenn sie mit gleichnamigen Polen genähert werden. Im ersteren Falle haben die sie umkreisenden elektrischen Ströme die gleiche, im letzteren die entgegengesetzte Richtung. In beiden Fällen aber haben diese Ströme das Bestreben, einander parallel zu stellen.

Diese Ampère'sche Theorie wirft aber auch ein neues Licht auf den Erdmagnetismus. Wir brauchen jetzt nicht mehr im Innern der Erde einen Kern von Magneteisen oder gar, wie der berühmte Halley, einen in jener Unterwelt frei rotirenden Magneten zu suchen. Wie wir vielmehr die Kraft des Elektromagneten in dem elektrischen Strome seiner Drahtwindungen wohnen sahen, so werden wir auch die Quelle des Erdmagnetismus in elektrischen Strömen suchen können, welche in der Richtung von Osten nach Westen beständig durch die Atmosphäre kreisen müssen. Richten wir daher unsern Blick auf jene Heimath der Windstillen und der Tropenstürme mit ihren täglichen Gewittern, von deren erhabener und furchtbarer Schönheit wir uns in unserm stillen Norden keinen Begriff machen können; sollten denn diese elektrischen Ströme, die in ihrem ruhigen Laufe sich freilich der Wahrnehmung entziehen und nur unterbrochen und im Kampfe der Wiedervereinigung sich kundgeben, nicht einen Magnetismus in der Erde erzeugen können, *dessen Pole wir* in den kalten Regionen der Polarkreise hervortreten

sahen? Es mögen freilich noch mannigfache andere und unbekannte Ursachen sein, welche solche mächtige elektrische Strömungen in der Erdrinde hervorrufen; das läßt uns die schwankende Bewegung in allen magnetischen Erscheinungen der Erde nach Tages- und Jahreszeiten, wie im Laufe der Jahre und Jahrhunderte vermuthen. Sonne und Mond mögen hier sogar mitwirken; die rotirende Bewegung der Erde und die Verschiedenheiten ihrer Geschwindigkeit nach den Zonen, die Wärme des Erdinnern und ihre ungleiche Vertheilung, die chemischen Processe, welche durch Licht und Wärme und organisches Leben in der festen und flüssigen Hülle unseres Erdkörpers angeregt werden, alles das mag eine Quelle für den Erdmagnetismus abgeben. Die Wissenschaft der Zukunft wird auch darüber noch Vieles aufklären; das Gewand des Wunderbaren ist schon jetzt dieser Kraft des Erdenschooßes abgestreift.

In den Augen des Laien sind zwar die Wunder des Magnetismus noch mehr geschwunden, seit man ihn dem praktischen Leben dienstbar gemacht, seit man ihn gezwungen hat, Maschinen zu bewegen und Zeichen zu geben. Die Möglichkeit, mit Hülfe des Magnetismus Bewegung zu erzeugen, ergiebt sich aus den angeführten Thatsachen von selbst. Sie beruht einfach auf den Erscheinungen der Anziehung und Abstoßung. Schon die Ablenkung der Magnetnadel ist eine solche Bewegung, die sich wenigstens anwenden läßt, um Zeichen zu geben. Noch geeigneter aber für eine praktische Verwerthung ist die Anziehung des Elektromagneten, der bedeutenden Kraft wegen, die sich darin äußert. So lange der elektrische Strom thätig ist, zieht das magnetisch gewordene Eisen seinen Anker an; sobald der Strom unterbrochen wird, läßt es ihn fahren. Durch abwechselnde Unterbrechungen des Stromes kann daher ein Hebel auf- und niederbewegt werden, welcher dann weiter in ein Triebrad eingreift und so ein ganzes Räderwerk in Bewegung setzt. Auch in der Umkehrung der Pole haben wir ein Mittel, unmittelbar eine Drehung zu bewirken, da die wechselnden Pole eines Elektromagneten die gegenüberstehenden Pole eines andern fortwährend in die entsprechende Stellung zu bringen streben müssen. Bis zu welcher Vollendung der praktische Sinn der Gegenwart diese einfachen Mittel auszubeuten gewußt hat, wird später gezeigt werden, wo es sich speciell um die Umwandlung der magnetischen oder elektrischen Bewegung in die mechanische handeln wird.

Fünftes Kapitel.

Die elektrische und magnetische Induction.

Die elektrische Induction.

Schon bei den Versuchen mit der elektrischen Flasche hatte man beobachtet, daß ein kräftiger Entladungsschlag stets auch in benachbarten geschlossenen Leitern elektrische Ströme hervorruft. Am deutlichsten kann man sich von dem Vorhandensein dieser Nebenströme mit Hülfe zweier völlig gleicher spiralförmig gewundener Drähte überzeugen, die man auf Holzscheiben befestigt und dann durch eine Glasscheibe getrennt so auf einander legt, daß die Windungen möglichst genau über einander zu liegen kommen. Leitet man durch die eine Spirale den Entladungsschlag einer elektrischen Flasche, indem man gleichzeitig die Enden der andern Spirale mit den Händen faßt, so empfindet man in demselben Augenblicke eine Erschütterung. Nähert man die Enden dieser Spirale einander bis auf einen geringen Abstand, so springt ein Funke über in dem Augenblicke, wo durch die andere Spirale der Entladungsschlag der elektrischen Flasche geht. Diese Erscheinung, die sich im Großen bei Gewittern in Funken zeigt, die von spitzen Gegenständen in der Nähe eines Blitzableiters ausströmen, an welchem ein Blitz niederfährt, pflegte man sonst als elektrischen Rückschlag zu bezeichnen. Ihr eigentliches Wesen vermochte man erst zu erkennen, als es gelungen war, sie in ihrer Allgemeinheit nachzuweisen.

Michael Faraday, der Sohn eines Londoner Grobschmieds und noch bis zu seinem 21. Jahre in einem Buchladen beschäftigt, aber durch Humphry Davy der wissenschaftlichen Forschung gewonnen und seitdem einer der berühmtesten und genialsten Physiker des Jahrhunderts, machte im Jahre 1831 die wichtige Entdeckung, daß jeder elektrische Strom, gleichviel welchen Ursprungs, im Augenblicke seines Entstehens und seines Verschwindens in jedem benachbarten geschlossenen Leiter einen augenblicklichen elektrischen Strom hervorruft. Faraday bezeichnete diese Erscheinung als Induction und nannte die entstehenden Nebenströme inducirte Ströme.

Die Stärke eines solchen inducirten Stromes hängt nicht allein von der Stärke des inducirenden ab, sondern auch theils von der Länge der Strecke, durch welche beide Ströme neben einander herlaufen, theils *von ihrer gegenseitigen* Nähe. Dazwischen befindliche schlechte Leiter

können den inducirten Strom nicht schwächen, wohl aber gute geschlossene Leiter, weil in diesen elektrische Ströme inducirt werden würden. Man kann sich daher in sehr einfacher Weise kräftige inducirte Ströme verschaffen, wenn man zwei lange, mit Seide übersponnene, also völlig isolirte Drähte auf eine Spule von Holz wickelt. Da diese Drähte ohne leitende Verbindung mit einander fortlaufen, so kann auch ein elektrischer Strom, der den einen Draht durchläuft, nicht unmittelbar in den andern übergehen. Verbindet man daher die Enden des einen Drahtes (a und b, Fig. 143) mit den Polen einer galvanischen Batterie und die Enden des andern Drahtes (c und d) unter einander, so muß, wenn in diesem letzten Drahte sich ein elektrischer Strom zeigt, dieser ein inducirter sein. Von der Anwesenheit eines solchen kann man sich aber überzeugen, wenn man zwischen die Enden dieses Drahtes (c und d) einen Multiplicator einschaltet. Man wird dann finden, daß die Multiplicatornadel sowohl beim Schließen als beim Oeffnen der galvanischen Kette abgelenkt wird, daß die Nadel aber augenblicklich wieder zur Ruhe zurückkehrt, zum Zeichen, daß die entstandenen Ströme nur die Dauer eines Augenblicks hatten. Man wird ferner aus der Richtung der Ablenkung der Magnetnadel erkennen, daß der beim Schließen der Kette entstehende inducirte Strom die entgegengesetzte Richtung von der des inducirenden, der bei der Oeffnung der Kette entstehende aber die gleiche Richtung wie der inducirende Strom hat.

Fig. 143.

Solche inducirte Ströme unterscheiden sich von den gewöhnlichen galvanischen Strömen außer durch ihre momentane Dauer nur dadurch, daß sie besser im Stande sind, Leitungswiderstände zu überwinden. Sie lassen sich deshalb ohne bedeutende Schwächung durch sehr feine Drähte fortführen und durchdringen den menschlichen Körper mit großer Leichtigkeit. Darum zeigen sie auch sehr kräftige physiologische Wirkungen. Versieht man die Enden des Nebendrahtes, in welchem die Ströme inducirt werden sollen, mit metallenen Griffen, und erfaßt man diese dann mit den Händen, so empfindet man beim Schließen und Oeffnen der galvanischen Kette selbst dann eine Erschütterung, wenn der galvanische Strom an sich viel zu schwach wäre, um unmittel-

bar empfunden zu werden. Die Empfindung kann sogar in's Unerträgliche gesteigert werden, wenn die Erschütterungen einander sehr rasch folgen, wenn man den Hauptstrom also abwechselnd schnell unterbricht oder umkehrt. Im Uebrigen sind die Wirkungen des inducirten Stromes ganz dieselben, wie die jedes elektrischen Stromes; man sieht Funken zwischen den genäherten Drahtenden überspringen, Drähte erglühen, Eisen magnetisch werden.

Da die Stärke des inducirten Stromes wesentlich von der Anzahl der Drahtwindungen abhängt, der inducirende Strom aber, der nicht eine solche Gleichgültigkeit wie jener gegen Leitungswiderstände besitzt, auf dem Wege durch einen langen dünnen Draht beträchtlich geschwächt werden würde, so pflegt man für die Fortführung des inducirenden Stromes einen kürzeren, dickeren Kupferdraht, etwa von 100—200 Fuß Länge und 1 Linie Dicke, für den inducirten Strom aber einen längeren dünneren Draht von 1000—2000 Fuß Länge und $^1/_4$ Linie Dicke anzuwenden. Man braucht auch nicht die Drähte über einander auf dieselbe Spule zu wickeln, sondern kann zwei besondere Drahtspiralen anfertigen und dann die eine Spirale in die Höhlung der andern einsenken. Man erhält auch die inducirten Ströme, wenn man die von dem inducirenden galvanischen Strome durchlaufene Spirale schnell einer andern Drahtspirale nähert und abwechselnd wieder davon entfernt.

In einer überraschenden Allgemeinheit gestaltete sich die Erscheinung der Induction durch die Entdeckung Faraday's, daß ein elektrischer Strom nicht blos in benachbarten Leitern, sondern auch in dem Drahte, den er selbst durchläuft, einen inducirten Strom hervorruft. Wenn man eine einfache galvanische Kette durch einen kurzen Draht schließt, so bemerkt man bekanntlich beim Oeffnen der Kette höchstens einen schwachen Funken, nimmt aber kaum irgend eine Erschütterung wahr, wenn man die Drähte in den Händen hält. Schließt man aber die Kette durch einen sehr langen dünnen Draht, der mit Seide übersponnen und spiralförmig aufgewickelt ist, so zeigt sich beim Oeffnen der Kette ein sehr kräftiger Funke, und man empfindet, wenn man die an den Drahtenden angebrachten metallenen Griffe in den angefeuchteten Händen hält, eine ziemlich heftige Erschütterung. Die Ursache dieser Erscheinung ist der in der Drahtleitung entstandene inducirte oder Extrastrom, wie ihn Faraday genannt hat, welcher, da er sich beim Oeffnen der Kette in gleicher Richtung mit dem Hauptstrome bewegt, die Wirkung des letzteren verstärkt. Beim Schließen der Kette hat

dieser Extrastrom die entgegengesetzte Richtung, wie der Hauptstrom, und beide schwächen daher einander in ihrer Wirkung, so daß ähnliche Erscheinungen wie beim Oeffnen der Kette nicht wahrgenommen werden können.

Die erwähnte Eigenschaft der inducirten und Extraströme, Leitungswiderstände mit großer Leichtigkeit zu überwinden, erregte den Wunsch, sie auch nutzbar zu machen, besonders ihrer kräftigen, phhsiologischen Wirkungen wegen für medicinische Zwecke. Das größte Hinderniß ihrer Nutzbarmachung bestand aber in der kurzen Dauer derselben. Es bedurfte daher einer Vorrichtung, um solche Ströme in so rascher Aufeinderfolge zu erzeugen, daß sie in ihrer Gesammtwirkung einem einzigen zusammenhängenden Strome nahe kämen. Eine solche Vorrichtung wurde zuerst von Wagner in Frankfurt im Jahre 1838 erfunden und von Neef in einem kleinen Apparate in Anwendung gebracht, der hauptsächlich für medicinische Zwecke bestimmt war. Die glänzendste Anwendung aber haben die inducirten Ströme in dem von Ruhmkorff in Paris im Jahre 1851 ausgeführten Apparate gefunden, der seiner überraschenden Wirkungen wegen mit Recht unter den elektrischen Apparaten der Neuzeit eine seltene Berühmtheit erlangt hat.

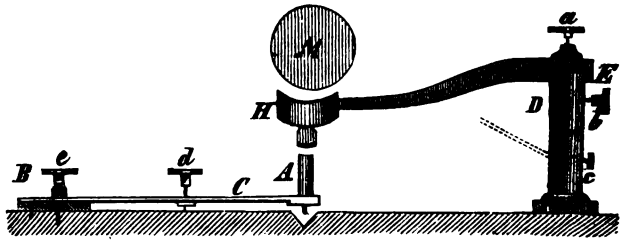
Der Ruhmkorff'sche Apparat besteht im Wesentlichen aus drei Theilen, der Inductionsrolle, dem elektromagnetischen Hammer oder Stromunterbrecher und dem Commutator oder Stromwender.

Die Inductionsrolle ist die bekannte Drahtspirale, also eine Spule von dünner Pappe, um welche zunächst ein verhältnißmäßig kurzer, 2 Millimeter (fast 1 Linie) dicker, mit Seide besponnener Draht gewickelt ist, durch welchen der galvanische Strom geführt wird. Ueber diesen dickeren Draht ist dann ein äußerst feiner, gleichfalls genau isolirter Draht gewunden, der gewöhnlich eine Länge von 8—10 Kilometer (1—$1^1/_4$ geographische Meile) hat. An den Enden dieser Rolle sind zwei Scheiben von dickem Glase angebracht, in welche Löcher gebohrt sind, durch welche die Enden der Drähte hindurchgehen. Die Enden des dünnen und langen Drahtes sind an zwei metallenen Knöpfen befestigt, welche von Glassäulen getragen werden, und die dazu bestimmt sind, durch Drähte mit demjenigen Körper, durch welchen der Inductionsstrom hindurchgehen soll, in leitende Verbindung gebracht zu werden.

Der elektromagnetische Hammer oder Stromunterbrecher ist

eben jene wichtige von Wagner erfundene Vorrichtung, welche den Zweck hat, den galvaniſchen Strom in möglichſt raſcher Folge zu unterbrechen und wieder herzuſtellen, um dadurch eine möglichſt raſche Folge von inducirten Strömen zu erzeugen. Er beſteht zunächſt aus einem metalliſchen Hebel (HE, Fig. 144), der mit ſeinem Drehpunkte auf einer metalliſchen Säule (D) ruht, mit welcher er noch überdies durch einen

Fig. 144.

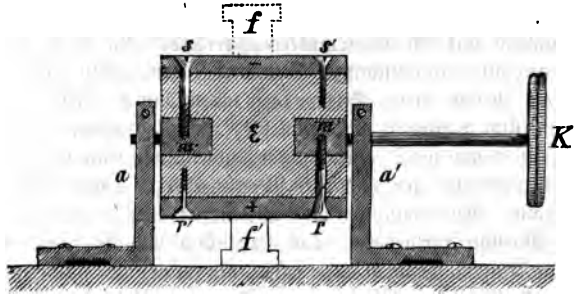


feinen Silberdraht, der durch zwei Schrauben (a und b) feſtgeklemmt iſt, in leitender Verbindung ſteht. An dem freien Ende des Hebels (H) iſt ein weiches Eiſenſtückchen, der eigentliche Hammer, befeſtigt, an welches unten eine kleine Kupferplatte angelöthet iſt, die wieder mit einem Platinblättchen bedeckt iſt. Unter dieſem Hammer befindet ſich der Ambos, ein an ſeiner obern Fläche ebenfalls mit einem Platinblättchen bedecktes kupfernes Säulchen (A), welches unten auf einem Kupferſtreifen (B C) ſteht. Für gewöhnlich ruht der Hammer auf dem Ambos auf. Da nun das eine Ende des ſtarken Drahtes der Inductionsrolle, durch welchen der galvaniſche Strom gehen ſoll, nicht unmittelbar mit dem Strome der galvaniſchen Batterie, ſondern mit der metalliſchen Säule D durch die Schraube c verbunden iſt, während erſt der Kupferſtreifen bei B mit jenem Pole in leitender Verbindung ſteht, ſo geht offenbar, ſo lange der Hammer auf dem Ambos aufliegt, der galvaniſche Strom durch den ganzen Apparat hindurch, und zwar von dem poſitiven Pole der Batterie durch den Draht der Inductionsrolle zur Säule, dann durch den Hebel und Hammer zum Ambos, von dieſem durch den Kupferſtreifen endlich zum negativen Pole der Batterie. In dem Innern der Inductionsrolle aber ſteckt ein Bündel weicher Eiſenſtäbe, das an beiden Enden etwas aus der Rolle hervorragt und hier mit einer Kappe von weichem Eiſen bedeckt iſt. Dieſe Eiſenkappe (M) ſteht gerade über dem Hammer H. Bekanntlich wird

aber das weiche Eisen durch den galvanischen Strom; der es in Spiralwindungen umläuft, in einen Magneten verwandelt. Auch jene Eisenkappe ist also, so lange der Strom durch die Inductionsrolle läuft, magnetisch. In Folge dessen aber zieht sie den Hammer an und hebt ihn empor, so daß die Berührung desselben mit dem Ambos aufhört. In demselben Augenblicke ist aber auch der galvanische Strom unterbrochen. Der Magnetismus in dem Eisenstabbündel verschwindet damit wieder, und der Hammer fällt auf den Ambos zurück. Dadurch wird aber die Stromleitung auch wieder auf's Neue hergestellt, das Eisenstabbündel magnetisch, der Hammer emporgezogen, der Strom abermals unterbrochen. So wiederholt sich dasselbe Spiel beständig. In rascher Folge wird die Kette abwechselnd geschlossen und geöffnet, und jedes Schließen und Oeffnen ist von Inductionsströmen begleitet.

Der dritte Theil des Ruhmkorff'schen Apparates, der Commutator oder Stromwender, ist zwar von untergeordneter Bedeutung, verdient aber doch seiner mehrfachen Anwendung wegen eine kurze Beachtung.

Fig. 145.



Er hat die Bestimmung, den galvanischen Strom bald in der einen, bald in der andern Richtung durch den Schließungsbogen der Batterie zu führen, ohne daß man erst nöthig hat, die Poldrähte zu verwechseln. Er besteht aus einem elfenbeinernen, in metallenen Zapfen drehbaren Cylinder (E, Fig. 145), auf dessen Oberfläche zwei metallene Streifen einander gegenüber durch Schrauben befestigt sind. Diese Schrauben sind aber von verschiedener Länge; zwei derselben (s und r) reichen bis in die metallenen Drehungszapfen (m und m') hinein, während die beiden andern (s' und r') diese Zapfen nicht erreichen. Da

nun dieſe Zapfen durch die metallenen Säulen (a und a'), auf welchen ſie mit ihren Axen ruhen, mit den beiden Enden des innern dicken Drahtes der Inductionsrolle in Verbindung ſtehen, während die beiden Metallſtreifen des Cylinders durch zwei metallene Federn (f und f'), die ſich an denſelben anlegen, mit den Polen der Batterie ſelbſt verbunden werden, ſo iſt dieſer ganze Apparat in den Schließungsbogen der Batterie ſelbſt eingeſchaltet und wird wie dieſer von dem elektriſchen Strome durchlaufen. Dreht man vermittelſt der Kurbel (K) den Cylinder um ſeine Axe, ſo wird die Feder f ſich bald an den Streifen rr', bald an den Streifen ss' anlegen, und, wenn dieſe Feder mit dem poſitiven Pole der Batterie verbunden iſt, der Strom bald durch die Feder r zur Stütze a' und von da durch die Drahtſpirale zur Stütze a und durch die Schraube s zur Feder f' und ſomit zum negativen Pole der Batterie, bald in der entgegengeſetzten Richtung von der Feder f durch die Schraube s nach a und durch die Inductionsrolle zu a' und über r und f' zum negativen Pole der Batterie verlaufen. Man hat es alſo ganz in der Hand, durch bloße Drehung der Kurbel dem elektriſchen Strome in der Inductionsrolle die entgegengeſetzte Richtung zu geben und damit die Pole derſelben umzukehren.

Der Ruhmkorff'ſche Apparat, deſſen wichtigſte Beſtandtheile die Inductionsrolle und der Stromunterbrecher bilden, hat durch die überaus kräftigen und raſch einander folgenden Inductionsſtröme, die er erzeugt, das Weſen dieſer Ströme erſt näher kennen gelehrt. Seine Wirkungen ſind wahrhaft überraſchend, zumal diejenigen größerer Apparate, bei denen die Drahtlänge der Inductionsſpirale bei $^1/_5$ Millimeter Dicke bisweilen auf 100,000 Meter (über 13 geographiſche Meilen) anwächſt. Die phyſiologiſchen Wirkungen ſind ſo kräftig, daß ſie zu ernſter Vorſicht auffordern. Der franzöſiſche Phyſiker Ouet, welcher zufällig mit den Poldrähten des erſten Ruhmkorff'ſchen Apparates in Berührung kam, wurde zu Boden geworfen und wäre vielleicht um ſein Leben gekommen, wenn ihm nicht Ruhmkorff zu Hülfe geeilt wäre. Die Erſchütterungen, die er erlitten hatte, waren ſo heftig, daß er noch längere Zeit das Bett hüten mußte. Und doch beſtand die Batterie, welche den galvaniſchen Strom erzeugte, nur aus 6 Elementen. Man pflegt daher, wenn man von den phyſiologiſchen Wirkungen des Apparates Gebrauch machen will, ſie zuvor durch Einſchaltungen von Leitungswiderſtänden, etwa mit Waſſer oder Weingeiſt gefüllten gläſernen Röhren, zu ſchwächen.

Die bedeutendſte und glänzendſte Wirkung des Ruhmkorff'ſchen

Apparates aber zeigt sich in den Licht- und Wärmeerscheinungen. So lange der Apparat in Thätigkeit ist, sieht man zwischen den genäherten Enden der Poldrähte lebhafte Funken überspringen. Diese können bei besonders großen Apparaten die Länge von 45 Centimetern (17 Zoll) erlangen. Kürzere, aber außerordentlich kräftige und blendend helle Funken werden erzeugt, wenn man eine Nebenschließung herstellt, in welche eine Leydener Flasche eingeschaltet ist. Wenn man vollends eine Batterie unmittelbar in den Inductionsdraht einschaltet, so kann man eine constante Ladung dieser Batterie erhalten, und der Entladungsschlag derselben zeigt eine so bedeutende mechanische Kraft, daß er selbst dicke Glasplatten zu durchschlagen im Stande ist.

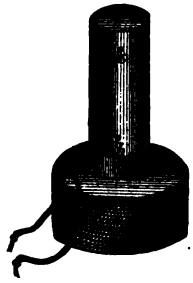
Die Funken, welche zwischen den genäherten Enden der Poldrähte überspringen, haben dem Ruhmkorff'schen Inductionsapparate neuerdings auch eine praktische Bedeutung verliehen, nämlich bei der Entzündung von Minen. Eine einzelne Mine kann man wohl, wie früher gezeigt, mittelst eines galvanisch glühenden feinen Drahtes entzünden. Wenn aber mehrere benachbarte Minen gleichzeitig entzündet werden sollen, ist es kaum möglich, alle die eingeschalteten feinen Drähte so völlig gleich herzustellen, daß nicht einer etwas früher erglüht, die Patrone entzündet und dadurch die Leitung unterbricht, so daß die Entzündung der andern Minen unterbleibt. Die Funken aber, welche an den Unterbrechungsstellen der Drahtleitung eines solchen Ruhmkorff'schen Apparates überspringen, müssen sämmtlich gleichzeitig auftreten und daher auch gleichzeitig sämmtliche Minen entzünden.

Feine Metalldrähte, welche mit den Enden der Poldrähte verbunden sind, erglühen und verbrennen sogar, wenn sie bis auf einen kleinen Abstand einander genähert werden. Kohlenspitzen, in welche die Polenden auslaufen, erzeugen das vielbewunderte, blendendweiße elektrische Licht. Am prachtvollsten aber sind die Lichterscheinungen, welche mit Hülfe des Inductionsapparates im luftverdünnten Raume, besonders in den bekannten Geißler'schen Röhren hervorgerufen werden, die mit äußerst verdünnten Gasen, oft nur Spuren derselben, erfüllt sind. Im völlig luftleeren Raume geht keine Elektricität über, giebt es also auch kein elektrisches Licht. Auch der elektrische Funke bedarf eines Trägers; es sind wägbare Stofftheilchen, welche durch den Uebergang der Elektricität in glühenden Zustand versetzt werden. Das Spectrum des elektrischen Funkens ist darum auch stets abhängig von der Natur der Pole, zwischen denen er überspringt, und von der Natur der Gase, welche er durchbricht.

Die magnetiſche Induction.

Wenn es wahr iſt, was die erwähnte Ampère'ſche Theorie lehrt, daß der Magnet gleichſam als ein Körper zu betrachten ſei, deſſen Theile von gleichgerichteten elektriſchen Strömen umkreiſt werden, daß er geradezu einem Schraubendrahte gleiche, der von einem elektriſchen Strome durchfloſſen wird, ſo muß der Magnet auch alle die inducirenden Wirkungen eines ſolchen elektriſchen Schraubendrahtes zeigen. In der That, wenn man einen Magnetſtab einem geſchloſſenen Leiter oder, noch beſſer, einer Drahtſpirale nähert (Fig. 146), oder wenn man denſelben bis gegen ſeine Mitte in die Hülſe der Drahtrolle eintaucht, ſo erfährt die Magnetnadel eines Multiplicators gerade ſo eine Ablenkung, als ob man ſtatt des Magneten eine elektriſche Spirale angewandt hätte. Es wird alſo ein Strom in dem Leiter inducirt, und zwar wieder ſowohl bei der Annäherung, als bei der Entfernung des Magneten, nur in dem letzteren Falle in entgegengeſetzter Richtung.

Fig. 146

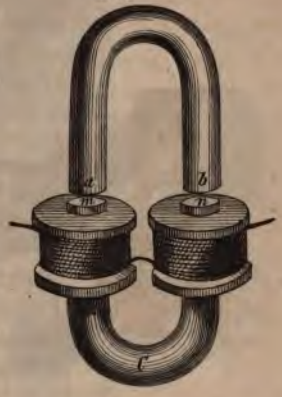


Dieſe inducirende Wirkung des Magneten kommt auch bei dem Bündel weicher Eiſenſtäbe zur Geltung, welches ſich in dem Innern der Inductionsrolle des Ruhmkorff'ſchen Apparates befindet. Es hat nicht allein die Beſtimmung, durch ſeinen abwechſelnd entſtehenden und verſchwindenden Magnetismus den Hammer des Stromunterbrechers zu heben und fallen zu laſſen, ſondern es wirkt auch verſtärkend auf den Inductionsſtrom. In dem Augenblicke nämlich, in welchem der durch den galvaniſchen Strom in dem Eiſenbündel erregte Magnetismus beim Oeffnen der Kette verſchwindet, veranlaßt er auch in der Drahtſpirale einen inducirten Strom, welcher mit dem Hauptſtrome und darum auch mit dem das Oeffnen der Kette begleitenden Extraſtrome dieſelbe Richtung hat und ſo zur Verſtärkung desſelben beiträgt.

Auch die durch den Magnetismus inducirten Ströme ſind nur von augenblicklicher Dauer. Zu einer kräftigen Wirkung derſelben iſt darum auch wieder ihre raſche Aufeinanderfolge nöthig. Dieſe kann aber in ſehr einfacher Weiſe durch die Rotation eines hufeiſenförmigen Stahlmagneten vor den Enden eines eben ſo gebogenen weichen Eiſens,

das mit einer Drahtspirale umwunden ist, erreicht werden. Der mit Seide übersponnene Draht muß um die beiden Schenkel des hufeisenförmig gebogenen Eisens so gewickelt werden, daß, wenn ein elektrischer Strom durch denselben geleitet würde, die Enden der Schenkel entgegengesetzte Pole erhalten würden. Läßt man nun den Stahlmagneten um seine senkrechte Axe so rotiren, daß seine Pole (a und b, Fig. 147) dicht unter den Enden (m und n) des mit der Drahtspirale umwundenen Eisens hingleiten, sich also abwechselnd denselben nähern und von ihnen entfernen, so wird bei jeder Drehung in dem weichen Eisen Magnetismus erregt werden, der wieder in der Drahtwindung elektrische Ströme inducirt. Bei jeder ganzen Umdrehung des Magneten werden zwei Ströme von entgegengesetzter Richtung inducirt, der eine, wenn sich der Nordpol des Magneten dem Schenkel m, der Südpol dem Schenkel n nähert, der zweite, wenn sich der Nordpol dem Schenkel n, der Südpol dem Schenkel m nähert. Bei hinreichend schneller Rotation des Magneten können die inducirten Ströme einander so rasch folgen, daß sie fast einem beständigen Strome gleichen. Allerdings haben diese inducirten Ströme nicht die gleiche Richtung, da die Pole ja mit jeder halben Umdrehung des Magneten wechseln, und die inducirten Ströme werden darum auch in ihrer raschen Folge einander theilweise schwächen. Seit man Mittel gefunden hat, auch diesen Uebelstand zu beseitigen, ist es gelungen, auch die durch Annäherung und Entfernung eines Magneten und durch abwechselnde Erzeugung und Vernichtung einer magnetischen Vertheilung inducirten Ströme zur Construction kräftiger elektrischer Maschinen zu benutzen, welche für den medicinischen Gebrauch, insbesondere aber auch für die elektrische Telegraphie von großer Bedeutung geworden sind. Die erste dieser magnet-elektrischen Rotationsmaschinen war die von Pixii im Jahre 1832 erbaute, die später aber eine bedeutende Vervollkommnung durch Stöhrer und Ettingshausen erhalten hat.

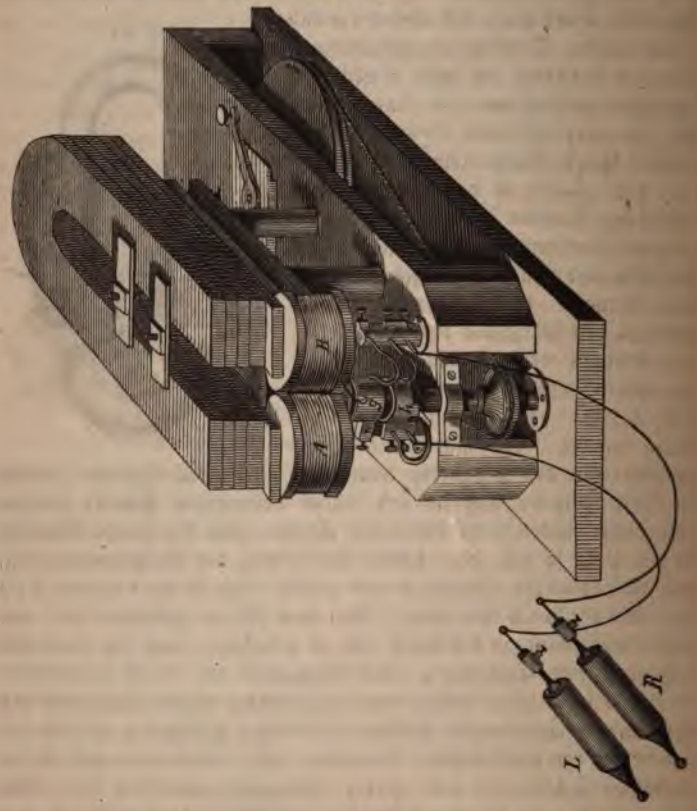
Fig. 147.



Die auch den meisten Lesern wohl schon durch Anschauung be-

kannt gewordene Ettingshausen'sche Rotationsmaschine (Fig. 148) besteht aus mehreren horizontal über einander liegenden kräftigen Hufeisenmagneten, unter deren Polen zwei kurze, mit sehr zahlreichen Windungen von übersponnenem Kupferdraht, also mit Inductionsspiralen

Fig. 148.



umgebene Eisenkerne (A und B) um eine senkrechte Axe rotiren. Durch diese Rotation werden einerseits die Inductionsspiralen abwechselnd den Polen der Hufeisenmagnete genähert und wieder von ihnen entfernt, während zugleich andererseits die Eisenkerne abwechselnd durch

Annäherung an die Magnetpole Magnetismus erlangen und wieder durch ihre Entfernung verlieren. Beide Vorgänge tragen in gleicher Weise zur Erzeugung elektrischer Ströme in den Inductionsspiralen bei. Es bleibt nur noch jener Uebelstand zu beseitigen, daß die Ströme ihre Richtung beständig wechseln. Denn der beim Annähern des Magneten erzeugte Strom hat die entgegengesetzte Richtung, wie der bei Entfernung desselben inducirte, und der durch Magnetischwerden des Eisens erzeugte ist entgegengesetzt dem durch Vernichtung des Magnetismus entstehenden Strome. Um alle diese Ströme in eine gemeinsame Richtung zu vereinigen, bedarf es einer Vorrichtung, welche die entgegengesetzt gerichteten Ströme zwingt, ihren Weg umzukehren, mit andern Worten also, eines Stromwenders oder Commutators. Dieser kann hier von sehr einfacher Form und auf der Drehungsaxe selbst angebracht sein. Er besteht (Fig. 149) aus einem Messingrohre (m), an dessen Enden zwei halbe Stahlringe (2 und 3) so aufgelöthet sind, daß sie einander gegenüber liegen und mit ihren Enden einander etwas überragen. In dem Messingrohre (m) steckt, durch ein dünnes Buchsbaumrohr davon getrennt, ein zweites Messingrohr (n), dessen Enden aus dem ersteren Rohre hervorragen und ebenfalls zwei halbe Stahlringe (1 und 4) tragen. Wenn sich nun nach einer halben Umdrehung der Inductionsrollen die Richtung des Stromes umgekehrt hat, so ist auch durch die gleichzeitige Drehung des Commutators ein anderer Stahlring hervorgetreten und bietet sich der die Leitung vermittelnden Feder zur Berührung dar. Der Strom wird dadurch abermals umgekehrt und verläuft nun in derselben Richtung wie der vorhergehende.

Fig. 149.

Die Wirkungen dieser Rotationsmaschine sind, obgleich sie sich aus den Einzelwirkungen zahlloser kleiner Ströme von unendlich kleiner Dauer zusammensetzen, außerordentlich. In der überraschenden Kraft ihrer physiologischen Wirkungen gleicht sie fast dem Ruhmkorff'schen Inductionsapparate. Die Erschütterungsschläge sind unerträglich, fast niederschmetternd, wenn man die an den Polenden befestigten cylindrischen Handgriffe (L und R) mit feuchten Händen ergreift. Auch kräftige Funken, die ebenso als schmelzende Gluth, wie als blendendes Licht auftreten können, chemische Zersetzungen und magnetische Wirkun-

gen, also alle die gewöhnlichen Erscheinungen der Elektricität gehören diesen magnetischen Strömen gleichfalls in hohem Grade an.

Durch die Entdeckung dieser Inductionserscheinungen ist die frühere Ansicht, welche zwischen Elektricität und Magnetismus eine trennende Schranke gezogen wissen wollte und sogar verschiedene Fluida für beide Kräfte in Anspruch nahm, völlig erschüttert worden. Die Einheit von Elektricität und Magnetismus kann auf diesem Gebiete kaum noch geleugnet werden. Jedem elektromagnetischen Phänomen entspricht hier auch ein bestimmtes magnet-elektrisches. Wie durch den elektrischen Strom des Multiplicatordrahtes die Magnetnadel abgelenkt wird, so entsteht, wenn man die Magnetnadel mit der Hand ablenkt, in dem Multiplicatordrahte ein elektrischer Strom, welcher demjenigen gerade entgegengesetzt ist, der die Nadel nach dieser Richtung hin ablenken würde. Aber auch selbst, wenn die Magnetnadel durch einen galvanischen Strom, der den Multipliatordraht durchläuft, abgelenkt wird, erzeugt diese Ablenkung im Multiplicatordrahte einen Inductionsstrom, welcher dem ablenkenden galvanischen Strome entgegengesetzt ist und ihn wenigstens für einen Augenblick schwächt.

Man kann es jetzt überhaupt als ein allgemeines Gesetz aussprechen, daß, wenn durch irgend einen elektrischen Strom Veränderungen irgend welcher Art, sei es Bewegung, Magnetisirung, chemische Zersetzung oder selbst Induction, hervorgebracht werden, diese Veränderungen von einem demjenigen elektrischen Strome, welcher sie erzeugt hatte, entgegengesetzten elektrischen Strome begleitet werden; daß also jeder Strom einen ihm selbst entgegengesetzt laufenden weckt und so durch seine eigenen Wirkungen zu einer Schwächung seiner eigenen Kraft, wenn auch nicht dauernd, doch wenigstens zeitweise, Veranlassung giebt.

Aber auch eine andere, früher sehr allgemeine Ansicht wird jetzt schwinden müssen, daß die elektrischen Erscheinungen nämlich nur zu den besonderen, im Ganzen seltenen Naturerscheinungen gehören. Sie zeigen sich verbreiteter und häufiger, als man gemeint hat. Man könnte fast behaupten, daß es keine Bewegung, keine Berührung, keine Veränderung überhaupt in der Natur gebe, die nicht von elektrischen Strömen begleitet wäre. Keine Kugel kann sich strenggenommen drehen, ohne in ihrem Innern elektrische Strömungen hervorzurufen; kein Metall kann die Berührung eines andern verlassen, kein Draht seine Stelle verändern, ohne Ströme zu induciren, und in allen

Maschinen, in denen Metallstücke durch einander bewegt werden, sind magnetische und elektrische Erscheinungen unvermeidlich.

Welche Regsamkeit in der Natur, und doch welche Harmonie zwischen ihren Gesetzen und den Gesetzen der Vernunft! Wie keine Zusammenziehung ohne Ausdehnung, keine Wärme ohne Wärmeberaubung, ohne Kälteempfindung, so kein elektrischer Strom ohne seinen Gegensatz in Nebenströmen! So ist auch in unserm Leben keine Lust und keine Freude, die sich nicht selbst ihren Schmerz, keine Trauer, die sich nicht selbst ihr stilles Glück schüfe! Wir bemerken diese Nebenströme freilich oft nicht; nur wenn sich ihre Wirkungen vereinigen, treten sie mit überraschender Gewalt hervor. Wenn aus tiefstem Seelenschmerze der Unglückliche plötzlich in wilde, lärmende Lust ausbricht, oder wenn im höchsten Rausche des Glücks ein Thränenstrom hervorquillt und eine Wolke des Schmerzes die Stirn umdüstert; dann erschrecken wir vor diesen vermeinten Widersprüchen, vor diesem Ausbruche von Bewegungen, die wir gar nicht vorhanden wähnten. So übersehen wir auch die unendliche Thätigkeit der Elektricität in ihren kleinsten momentanen Wirkungen; aber wenn sie in eine Kette vereinigt rasch einander folgen, da bewundern wir sie in den nervenerschütternden Wirkungen des Inductionsapparates oder der Rotationsmaschine, wie in der zerschmetternden Gewalt des Blitzes. Das Große setzt sich eben aus vielen kleinen Wirkungen zusammen; aber die einzelne That ist es, welche zahllose solcher unmerklich kleinen Wirkungen hervorruft. Keine That ohne Folgen, keine Folge ohne Bedeutung!

Vierter Abschnitt.

Die physikalischen Verwandlungserscheinungen,

oder

die Wechselwirkung der physikalischen Kräfte.

Erstes Kapitel.

Die Arbeit in der Natur und die Wechselwirkung der Kräfte.

Man hat es zwar von jeher geliebt, von einem wohlgeordneten Haushalte der Natur zu sprechen und darin die Spuren einer weislich sorgenden und ordnenden Hand zu sehen. Das hatte aber in der That keinen Sinn, so lange noch die Physik wesentlich eine Lehre von den Kräften war und sich lediglich damit beschäftigte, die mancherlei Erscheinungen derselben zu beobachten und mehr oder minder gemeinsame Gesichtspunkte dafür zu gewinnen. So lange man noch an getrennt für sich bestehende Kräfte der Natur, gleichviel ob Kraftstoffe oder Kraftgeister, dachte, so lange man glaubte, diese räthselhaften Wesen könnten beliebig in die Körper eintreten und sie verlassen, könnten in ihnen angehäuft oder gewissermaßen durch äußeren Anstoß in unerschöpflicher Fülle geweckt werden, so lange war es auch kein innerer Widerspruch, eine Neuschöpfung und eine Vernichtung von Kraft für möglich zu halten, so lange gingen darum auch ganz begreiflich Bestrebungen, wie Blei in Gold zu verwandeln oder ein Perpetuum mobile zu construiren, Hand in Hand mit Annahmen der verschwenderischesten Kraftvergeudung in der Natur, wie sie doch das beständige Ausströmen eines Licht- und Wärmestoffes von der Sonne voraussetzt. Seit die Physik aber wesentlich eine Lehre von den Bewegungen in der Natur geworden ist, seit sie gelernt hat, daß, was sie sonst Kräfte

genannt hatte, im Grunde nur wechselnde Erscheinungsformen der Bewegung sind, seit sie ihre Hauptaufgabe darin sieht, diesem Wechsel nachzuspüren, seine Bedingungen zu erforschen, Maß und Zahl dafür zu finden, kurz ein allgemeines Gesetz aufzustellen, welches das Wirken sämmtlicher sogenannter Naturkräfte in ihren wechselseitigen Beziehungen zu einander beherrscht, seitdem ist es auch mit jenen Anschauungen anders geworden. Seitdem erst hat jener „Haushalt der Natur" einen Sinn bekommen; denn Ordnung ist nur da, wo keine Kraft verloren geht, aber auch keine Kraft beliebig neu geschaffen werden kann, um eine verlorene zu ersetzen. Seitdem ist man auch erst zu einem wahrhaften Begriffe der Arbeit gelangt.

Der Begriff der Arbeit ist offenbar erst von den Verrichtungen der Menschen und Thiere auf die der Naturkräfte überhaupt übertragen worden. Noch heute berechnet man ja die Arbeit der Dampfmaschinen nach Pferdekräften. Aber das Maß für menschliche Arbeit und Maschinenarbeit ist doch nicht völlig das gleiche. Der Werth der menschlichen Arbeit wird außer durch den Kraftaufwand wesentlich auch durch die Geschicklichkeit bestimmt. Bei Maschinen und Naturkräften entspricht die Arbeitsleistung allein dem Kraftaufwande.

Bei der Werthbestimmung einer solchen Kraftleistung kommen daher zweierlei Dinge in Betracht, einmal die Größe des Widerstandes, welcher überwunden werden soll, dann die Länge des Weges, auf welchem der Widerstand in jeder Zeiteinheit überwunden werden muß. Bei der Hebung von Lasten, die man als die einfachste Arbeit ansehen kann, kommt es darauf an, wie groß das Gewicht der zu hebenden Last ist, und wie hoch dieselbe in einer Secunde gehoben werden soll. Wäre es z. B. ein schwerer Eisenhammer, der durch ein Wasserrad gehoben werden soll, das durch herabstürzende Wassermassen in Bewegung gesetzt wird, so besteht die Arbeit, welche das Wasserrad zu verrichten hat, zunächst in der Ueberwindung der Schwere des Hammers. Der Kraftaufwand wird also zunächst unter sonst gleichen Umständen dem Gewichte des Hammers entsprechen; er wird verdoppelt werden müssen, wenn jenes Gewicht verdoppelt wird. Aber die Leistung des Wasserrades wird auch durch die Höhe in Anspruch genommen werden, zu welcher der Hammer gehoben werden soll. Ist mit einem gewissen Kraftaufwande der Hammer um einen Fuß gehoben, so wird offenbar derselbe Kraftaufwand noch einmal verwandt werden müssen, um ihn einen zweiten Fuß zu heben. Die Arbeit wird also nicht blos verdoppelt, wenn das Gewicht des Hammers verdoppelt wird, sondern

auch, wenn die Hubhöhe verdoppelt wird. Die Arbeit wird also gemessen durch das Product aus dem gehobenen Gewichte und der Hubhöhe oder, allgemein ausgedrückt, durch das Product aus der wirkenden Kraft, welche dem Widerstande das Gleichgewicht hält, und dem in der Zeiteinheit zurückgelegten Wege.

Um die verschiedenen mechanischen Leistungen der Kräfte mit einander zu vergleichen, hat man die einfachste Arbeit, die Hebung einer Last, als Arbeitseinheit angenommen. Mit Zugrundelegung unseres deutschen Maßsystems ist dieses Arbeitsmaß ein Fußpfund, d. h. eine Last vom Gewichte eines Pfundes, die einen Fuß hoch gehoben wird. Nach dem französischen Maßsysteme ist es ein Kilogrammometer, d. h. die Hebung einer Last von 1 Kilogramm auf die Höhe von 1 Meter. Ein Kilogrammometer ist $6{,}_{37}$ preußischen oder $7{,}_{4}$ englischen Fußpfunden gleich. Da ein Pferd im Durchschnitt eine Arbeit verrichten kann, welche 75 Kilogrammometern in jeder Secunde entspricht, so ist eine Pferdekraft so viel als 75 Kilogrammometer oder 478 preußische und 542 englische Fußpfunde in der Secunde.

Wie eine Kraft auch wirken möge, an einem Wasserrade, an einer Haspel, einem Flaschenzuge, einer Schraube, ihre Arbeitsleistung kann niemals größer sein, als die, welche die Kraft unmittelbar verrichten würde. Wenn ein Hammer vom Gewichte eines Centners einen Fuß hoch gehoben werden soll, so muß mindestens ein Centner Wasser einen Fuß fallen, oder es müssen zwei Centner Wasser einen halben Fuß fallen. Wenn ein Mann an einem Seile, das um eine einfache Rolle geschlungen ist, bequem eine Last von 25 Pfund um $2^1/_2$ Fuß in der Secunde heben, also eine Arbeit von $62^1/_2$ Fußpfund verrichten kann, so vermag er an einer Welle, deren Halbmesser viermal kleiner ist als der Hebelarm, an welchem er angreift, mit derselben Kraftanstrengung zwar die vierfache Last zu derselben Höhe zu heben, aber auch mit viermal geringerer Geschwindigkeit, so daß seine Leistung doch nur $62^1/_2$ Fußpfund in der Secunde beträgt.

Nur in einem Falle könnte es scheinen, als ob die Leistung einer Kraft vergrößert werden könnte, wenn es nämlich ein bewegter Körper ist, der die Arbeit verrichtet. Es ist ganz unzweifelhaft, daß ein aus einer gewissen Höhe herabfallender Hammer eine größere Gewalt ausübt, als ein blos durch sein Gewicht drückender, und die zerstörende Wirkung einer abgeschossenen Büchsenkugel steht in keinem Vergleiche zu der unschuldigen Wirkung der ruhenden. Aber was diesem bewegten Körper seine größere Leistungsfähigkeit giebt, das ist erst zuvor in ihn

hineingelegt durch die Kraft, welche ihm die Bewegung ertheilte. Ein bewegter Körper ist gewissermaßen als ein Kraftmagazin zu betrachten, dessen aufgesammelte Kräfte entweder allmälig durch die Widerstände aufgezehrt werden, oder plötzlich gegen einen einzigen Widerstand zur Geltung kommen. Durch den Fall von einer gewissen Höhe erlangt z. B. ein Körper bekanntlich eine solche Geschwindigkeit, daß er, mit derselben Geschwindigkeit aufwärts geworfen, bis zu derselben Höhe aufsteigen würde. Jener Hammer also vom Gewichte eines Centners, der, durch das Wasserrad 15 Fuß emporgehoben, niederstürzt, hat dadurch eine Geschwindigkeit erlangt, daß er vermöge derselben wieder 15 Fuß steigen würde; er kann also eine Arbeit ausüben, welche der Hebung einer Last von 1 Centner auf die Höhe von 15 Fuß gleich ist. Die Arbeitskraft eines bewegten Körpers, welche man auch seine lebendige Kraft nennt, entspricht also dem Product aus seiner Masse und der Höhe, zu welcher er vermöge seiner Geschwindigkeit senkrecht emporsteigen würde. Da wir aber aus den Fallgesetzen bereits wissen, daß sich die Fallräume wie die Quadrate der erlangten Geschwindigkeiten verhalten, so können wir die lebendige Kraft eines Körpers auch als proportional dem Quadrate seiner Geschwindigkeit bezeichnen.

Diese lebendige Kraft der Körper ist es, welche wir vorzugsweise als Arbeitskraft benutzen. Der Mensch selbst kann keine Arbeitskraft erschaffen; er kann nur schöpfen aus dem vorhandenen Vorrathe. Er selbst speichert entweder Arbeit auf, um sie, je nach Bedürfniß, auf einmal oder allmälig und in langen Zeiträumen zu verwenden; oder die Natur hat für ihn Kraftmagazine errichtet, die er nur ausbeutet.

Für die plötzliche Verwendung angesammelter Arbeit giebt das Einrammen eines Pfahles das deutlichste Beispiel. Die Wirkung auf den Pfahl soll von oben nach unten ausgeübt werden; aber die Arbeiter können nur von unten nach oben ziehen. Sie heben daher den schweren Rammblock und sammeln dadurch Arbeit, die dann dem Bedürfnisse gemäß in entgegengesetzter Richtung verwandt wird, und zwar einfach durch das Fallenlassen des gehobenen Gewichtes, wozu es keiner neuen Anstrengung, keiner Arbeit bedarf. Aehnlich verhält es sich mit der Kugel, die wir aus einer Windbüchse abschießen. Mit Hülfe einer Luftverdichtungspumpe trieben wir eine große Menge Luft in den Kolben, die nun, durch Oeffnung des Hahnes plötzlich freigelassen, die Kugel aus dem Laufe der Büchse treibt. Neue Arbeitskraft ist hier durch die verdichtete Luft nicht erzeugt; wir könnten ja die Arbeit bestimmen, die

wir beim Einpumpen der Luft verwendet haben, und wir würden sie ganz der lebendigen Kraft entsprechend finden, welche der Kugel beim Abschießen mitgetheilt ist. Aber wir haben vielleicht eine Viertelstunde lang an der Pumpe gearbeitet, und diese Arbeit ist in wenigen Secunden verbraucht worden. Das ist die Ursache der großen Geschwindigkeit der abgeschossenen Kugel, die freilich eine bloße Wurfbewegung des Armes nicht hätte hervorbringen können. Auch in dem Schießpulver, das freilich seine Kraft wesentlich anderer als menschlicher Arbeit verdankt, liegen doch manche Arbeiten vieler Menschen und langer Zeiten aufgehäuft. Menschenhände zerkleinerten Kohle, Schwefel und Salpeter, mischten sie mit einander und körnten das Pulver; mancher Tag verging, ehe das Pulver fertig war. In Magazinen aufgehäuft, schlummert nun diese Arbeit, bis ein Funke die kleinen, zu ungeheuerer Summe aufgespeicherten Arbeitsmengen der Menschenhand und der Natur in einem Augenblicke in Thätigkeit setzt.

Im Gegensatze zu dieser plötzlichen Verwendung lange gesammelter Arbeit zeigt uns die Uhr das Beispiel einer durch das einmalige Aufziehen des Gewichts oder der Feder gesammelten Arbeit, welche den ganzen Tag hindurch die Uhr im Gange erhält, indem sie sich vertheilt und sehr allmälig zum Verbrauche kommt. Neue Arbeit wird auch hier durch das Räderwerk der Uhr nicht erzeugt; es giebt nur wieder aus, was ihm durch Denjenigen, welcher die Uhr aufzog, an Arbeitskraft mitgetheilt wurde.

Wie der Mensch sich in dieser Weise künstlich seine Kraftmagazine schafft, so hat die Natur ihm von Anbeginn zahllose solcher Speicher gefüllt. Der Waldbach und der Wind, welche unsere Mühlen treiben, der Wald und das Steinkohlenlager, welche unsere Dampfmaschinen und unsere Zimmer heizen, sind nur Träger eines großen Kraftvorrathes der Natur, den wir für unsere Zwecke ausbeuten, und dessen Wirkungen wir nach unserm Willen zu lenken suchen. Die wirkenden Kräfte selbst aber, die wir in diesen Magazinen aufgespeichert finden, sind keine andern, als die bekannten physikalischen Kräfte: Schwere, Wärme, Elektricität, Magnetismus, chemische Verwandtschaft. Einige Beispiele werden dies noch deutlicher machen.

Um sein Mühlrad zu treiben, benutzt der Müller die Schwere des herabfallenden Wassers. Aber diese Schwere ist nicht einmal die letzte eigentliche Arbeitsursache. Wäre keine andere, wir möchten fast sagen, lebendiger wirkende Kraft vorhanden, so würden offenbar alle Ströme so lange von Berg zu Thal fließen, bis ein gleiches Niveau

aller Wasser auf Erden erreicht wäre. Dann aber würde Ruhe, wechsellose Ruhe herrschen; ein überall gleich hohes Meer würde das Festland umgeben, und alle Flüsse wären längst versiegt; denn die Schwere könnte das Wasser ja nicht wieder zum Quell zurücktreiben. Hierzu bedarf es vielmehr einer Arbeit, und zwar einer nie rastenden Arbeit. Das Wasser muß vom Meere zur Bergeshöhe gehoben, hinauf gepumpt werden, damit es von da zurückfließen könne. Die Natur besitzt nun in der That ein solches Pumpwerk. Das Wasser des Meeres, der Ströme, des Bodens verdampft nämlich beständig; in Dampfgestalt steigt es aufwärts, in Wolkengestalt wird es von den Winden bis in die Gegend der Quellen getrieben; in Regen- und Thaugestalt fällt es dort befruchtend und neu belebend nieder. Auf's Neue fließt es nun vom Fels zum Meere und setzt auf diesem Wege Mühlräder, Turbinen, Säulmaschinen, die der Mensch ihm hemmend in den Weg stellt, in Bewegung, um dann vom Meere aus den Kreislauf von Neuem zu beginnen. Die Kraft also, welche unsere Wasserwerke in Bewegung setzt, ist dieselbe, die das Wasser in Dunst- und Dampfgestalt verwandelt, dieselbe, welche auch die Winde erzeugt und durch diese Windmühlenflügel und Segel treibt: die Wärme. Sie ist es, welche die Körper nicht blos ausdehnt, sondern auch die Fesseln lockert, welche die Körpertheile an einander binden, und ihnen die freiere, beweglichere Form der Flüssigkeit giebt, welche aber auch die Flüssigkeiten wieder aus einander treibt und ihre Theilchen in Dampfform fort und fort jagt, bis ein mächtigerer Widerstand ihnen Halt gebietet. Bei diesen Veränderungen der Aggregatzustände, sagt man, werde den Körpern Wärme entzogen, weil sie für unsere Thermometerbeobachtungen allerdings verloren geht. Aber diese scheinbar verschwundene Wärme ist keineswegs verloren, sondern man bezeichnet sie nur als gebunden und latent; denn sie tritt plötzlich wieder in Thätigkeit, sobald der luftförmige Körper wieder flüssig, der flüssige Körper wieder fest wird. Die Wärme war also nur aufgespeichert von der Natur, um einst als Arbeitskraft zur Verwendung zu kommen.

Ein zweiter Fall, in welchem wir aus einem großen, vieltausendjährigem Naturschatze für unsere großartige industrielle Thätigkeit schöpfen, ist die Dampfmaschine. Auch hier ist es die Wärme, welche das Wasser in Dampf verwandelt, diesen Dampf in den Cylinder treibt und dadurch den Kolben darin auf- und abbewegt. Aber diese Wärme entnehmen wir nicht unmittelbar dem großen Naturschatze;

wir verschaffen sie uns durch Verbrennen von Holz oder Kohle. Die Kohle, Steinkohle oder Braunkohle, ist aber auch einmal Holz gewesen, ist bekanntlich der Ueberrest der vor vielen Jahrtausenden begrabenen Wälder der Urwelt. Die Natur, welche uns in diesen Kohlen gleichsam ihre Speicher zur Erzeugung von Wärme und damit auch von Arbeit eröffnet, sorgt also für uns durch das Wachsen der Pflanzen, und zwar seit Zeiten, in denen unser Geschlecht noch gar nicht existirte. Die Pflanze aber wächst und ernährt sich von Sonnenstrahlen. Sie nimmt durch ihre Blätter Kohlensäure aus der Luft auf, und durch die chemische Einwirkung des Sonnenlichts wird die Kohlensäure dabei in ihre Bestandtheile, Sauerstoff und Kohlenstoff, zersetzt, der erstere der Luft zurückgegeben, der letztere in fester Gestalt der Pflanze einverleibt, um sie wachsen zu machen, dereinst aber uns Heiz- und Arbeitsstoff zu verschaffen. Jedes Stückchen Kohle ist also ein kleines Magazin aufbewahrter Sonnenwärme, und meist sind es sogar die Strahlen einer Urzeit, die unsere Oefen erwärmen und in unsern Dampfmaschinen für uns arbeiten.

Welchen andern natürlichen Kräftevorrath man auch betrachten möchte, immer würde man schließlich auf eine der sogenannten physikalischen Kräfte zurückkommen. Alle unsere Arbeit beruht also auf einer Verwandlung dieser Kräfte in Bewegung. Arbeit überhaupt ist von diesem Standpunkte nichts Anderes, als Verwandlung bereits vorhandener Bewegung — denn auch jene Kräfte sind nur Formen der Bewegung — in bestimmte Formen. Bei einer solchen Verwandlung kann natürlich nichts verloren gehen. Was uns Kraftverlust scheint, ist nur eine Form der Bewegung, die sich unserer unmittelbaren Beobachtung entzieht. Wenn zwei bewegte Körper auf einander stoßen und plötzlich zur Ruhe kommen, so ist ihre Bewegung keineswegs vernichtet. Die vorhandene Kraft wird nur nicht mehr verwandt zur Fortbewegung der Massen, sondern zur Annäherung der Massentheilchen, zur Erzeugung von Wärme; und selbst in den Schallschwingungen, die uns den Stoß hörbar machen, müssen wir Trümmer der scheinbar verlorenen Kraft suchen. In der zitternden Bewegung der Wagen, in dem Geräusche der Räder, in der Erhitzung der Achsen und Zapfen findet sich ein großer Theil jener Verluste wieder, welche bekanntlich die Zugkraft einer Locomotive erleidet. Die sogenannten Hindernisse der Bewegung sind nichts Anderes, als eine Uebertragung der Bewegung von den Massen auf die Massentheilchen.

So wenig wie bei einer einzelnen menschlichen Arbeit, kann auch

in der Natur im Großen ein Kraftverlust stattfinden. Auch hier beruhen alle Erscheinungen, alle noch so großartigen, schöpferischen oder zerstörenden Wirkungen nur auf einer Verwandlung vorhandener Bewegungen in Bewegungen anderer Art. Man kann daher ganz allgemein aussprechen, was Helmholtz das Gesetz von der Erhaltung der Kraft genannt hat: Es besteht in der Natur von Ewigkeit zu Ewigkeit eine Summe unzerstörbarer Kräfte, die nicht vermehrt noch vermindert werden kann, und die nur durch die wechselnde Form des Bewegens den Reichthum der Erscheinungen schafft. Nur einmal und für immer ward das große Budget der Natur bewilligt, aus dem sie ihren Bedarf an thierischen und pflanzlichen Gebilden, an anorganischen Körpern, an Himmelsbewegungen, an Licht und Wärme zu bestreiten hat.

Diesem großartigen Gesetze gegenüber kann sich weder die Theorie noch die Praxis gleichgültig verhalten. Die eine hat es nun nicht mehr allein mit der Beobachtung der Erscheinungen einer einzelnen Kraft und der Unterordnung derselben unter besondere Gesetze zu thun, sondern muß die Erscheinung der einen Kraft hinüberverfolgen auf die Gebiete anderer Kräfte, muß die Wechselwirkungen aller Kräfte unter einander, ihre Uebergänge oder Verwandlungen beobachten und durch Gesetze feststellen. Die andere hat es nicht mehr mit unversiegbaren Kräftevorräthen zu thun, die sie zu ihren Arbeiten benutzt, sondern mit ganz genau bestimmten, nicht vermehrbaren Arbeitsmengen. Sie muß also haushälterisch mit ihnen umgehen, muß im Voraus zu erfahren suchen, was von ihnen verlangt werden kann. Sie muß, mit andern Worten, in den Stand gesetzt sein, jede Kraft, möge sie als Wärme, als elektrische, als chemische Kraft, oder in welcher Form sonst sich darbieten, in Arbeit zu übersetzen. Es stellt sich also überhaupt die Forderung heraus, die Naturkräfte und ihre Wirkungen unter einander zu vergleichen und auf ein gemeinsames Maß zurückzuführen.

Eine Vergleichung der Kräfte unter einander ist nur dann möglich, wenn sie gleichartig sind, wenn sie also sämmtlich auf Bewegung zurückgeführt werden können. Von dem Standpunkte aus, den die heutige Physik mit jenem Gesetze eingenommen hat, kann es überhaupt keine anderen Erregungen der Materie mehr geben, als Bewegung. Wie die grobe und greifbare Bewegung, welche durch die Begegnung eines andern Körpers oder durch die bekannte Reibung gehemmt oder vernichtet wird, nur in Bewegungen der inneren Körpertheilchen selbst zerlegt wird, die nach Um-

ständen als Wärme oder Elektricität erscheinen, so beruht jede Erregung der Materie schließlich auf solchen moleculären oder Theilchen-Bewegungen. Dies widerspricht auch keineswegs den bisherigen herrschenden Anschauungen der Physik. Elektricität, Licht, Magnetismus haben alle bisherigen Theorien auf Bewegung zurückzuführen gesucht. Selbst wenn man in ziemlich roher Weise das Licht durch Annahme einer außerordentlich feinen Materie zu erklären versuchte, mußte man es doch ausströmen, d. h. durch die leuchtenden Körper in Bewegung gesetzt werden lassen. Die Undulations- oder Vibrationstheorie lehrt geradezu, daß entweder die Körpertheilchen selbst oder die Theilchen eines die Körper durchdringenden Aethers durch den leuchtenden Körper in Schwingung, d. h. in Bewegung versetzt werden. Auch daß beim Durchgange der Elektricität oder des Magnetismus durch einen Körper gewisse Erzitterungen, seien es seiner Aethertheilchen oder seiner materiellen Theilchen, veranlaßt werden, konnte von dem Physiker längst kaum noch bezweifelt werden. So konnte also auch die bisherige Physik überall nur Bewegungen sehen, und der einzige Unterschied zwischen ihrer Auffassung und der heutigen besteht darin, daß jene die Bewegungen nur als beiläufige Wirkungen der für sich bestehenden Kraft ansah, während die neue Anschauung in den Bewegungen selbst die Kräfte erblickt und die Schwingungen oder Erzitterungen der Materie ohne Weiteres als Elektricität oder Magnetismus, Wärme oder Licht auffaßt.

Diese Auffassung findet ihre Bestätigung in der gleichzeitigen Erregung mehrerer oder gar sämmtlicher bisher getrennt gehaltener Kräfte. Es ist kaum anzunehmen, daß eine einzige der sogenannten physikalischen Kräfte je für sich allein angeregt werden könne, daß man etwa eine mechanische Bewegung erzeugen könne, die nicht zugleich von Wärme- und elektrischen Erscheinungen begleitet wäre, daß man Wärme erzeugen könne, ohne chemische und elektrische Kräfte wachzurufen. Man möchte sogar behaupten dürfen, daß wo die eine oder andere dieser Kräfte bei irgend einer Erregung der Materie nicht in bemerkbaren Wirkungen hervortritt, nur unsere Mittel nicht fein genug sind, um sie zu entdecken. Daß man einen Körper nicht elektrisiren kann, ohne ihn zugleich zu magnetisiren, haben wir bereits erfahren. Aber wenn wir ein Metall elektrisiren, so wird es nicht blos magnetisch, sondern es wird auch warm bis zu einem mehr oder weniger hohen Grade, je nach der Stärke der angewandten elektrischen Kraft; und wenn eine gewisse Grenze dieser Wärme überschritten wird, so wird das Metall

auch leuchtend, oder es wird auch Licht erzeugt. War es statt des Metalles ein Metallsalz, das wir elektrisirten, so wurde es auch noch zersetzt, wurde also auch chemische Thätigkeit erzeugt.

So stehen also alle die verschiedenen Kräfte der Materie, Wärme, Licht, Elektricität, Magnetismus, chemische Verwandtschaft und Bewegung, in wechselseitiger Abhängigkeit oder in Wechselwirkung mit einander. Diese Wechselwirkung ist nicht blos so aufzufassen, daß sie nicht getrennt von einander existiren könnten, daß mit der einen Kraft immer auch die andere wachgerufen würde; sondern überhaupt jede Kraft vermag jede andere zu erzeugen oder sich in sie zu verwandeln, und jede Kraft vermag umgekehrt von jeder andern erzeugt zu werden. Darum ist auch keine Kraft als die erste und ausschließliche Ursache aller andern, als eine eigentliche Anfangskraft anzusehen. Man kann nicht etwa die Elektricität als die Ursache aller Veränderungen oder Erscheinungen in der Natur bezeichnen, und ebenso wenig die Wärme. Da jede Kraft immer wieder eine frühere Kraft voraussetzt, von welcher sie erzeugt wurde, so würde man bei jedem Versuche, zu einer Anfangskraft zu gelangen, auf eine Kette von Ursachen und Wirkungen stoßen, die, ohne Anfang und Ende, in einem Kreise sich zusammenschlösse. Ein Beispiel wird genügen, das zu beweisen. Nichts scheint einfacher, als der flüchtige Funke, der dem Conductor einer Elektrisirmaschine entspringt. Dieser Funke wird durch Elektricität hervorgebracht; aber die Elektricität wird durch Bewegung und die Bewegung wieder durch eine andere Ursache, z. B. eine Dampfmaschine, also durch Wärme hervorgebracht. Die Wärme wird durch die chemische Verwandtschaft des Kohlenstoffes des Brennmaterials zum Sauerstoffe der Luft erzeugt, und dieser Kohlenstoff und Sauerstoff wurden wieder vorher entwickelt durch Thätigkeiten, die sich uns zwar unter der ziemlich mysteriösen Hülle des Lebens noch verbergen, in denen wir aber wieder unzweifelhaft ein Zusammenwirken von Wärme, Licht, chemischer Verwandtschaft u. s. w. erkennen. So verlieren wir uns, statt eine Urkraft zu finden, in einer Unendlichkeit wechselnder Formen der Kraft, und statt auf eine Schöpfung zu stoßen, sehen wir die Kraft selbst in so viele Kräfte sich auflösen, die zu ihrer Erzeugung beigetragen haben, daß alle unsere Mittel nicht mehr ausreichen, sie nachzuweisen. Die Lösung dieses Räthsels aber liegt in der Ewigkeit und Anfanglosigkeit der Kraft überhaupt. Die Kraft oder die Bewegung ist so ewig und unzerstörbar, als die Materie selbst.

Diesem Spiele in Wechselwirkung stehender Kräfte gegenüber

steht nun das große Problem der heutigen Physik, die sämmtlichen Kräfte auf eine gemeinsame Einheit zu beziehen, in Maß und Zahl auszudrücken oder, um es mit einem Kunstausdrucke zu bezeichnen, ihre Aequivalente festzustellen. Die Lösung dieses Problems ist keine unmögliche, wenn alle Kräfte in der That nur verschiedene Arten der Bewegung sind. Denn jede Bewegung läßt sich in Arbeit verwandeln, und es wird nur der Beobachtung bedürfen, um das Maß der Arbeit für jede Kraft zu finden. Schwierig mag das freilich sein. Aber man sollte doch denken, wenn jede Kraft sich nur in andere auflöst oder zerstreut, wenn die Bewegung sich nur in Wärme, Elektricität u. s. w. verwandelt, so müßte es möglich sein, die zerstreuten oder umgewandelten Kräfte wieder zu vereinigen, wieder umzuwandeln und so die ursprüngliche Bewegung wieder herzustellen. In ähnlicher Weise vermag man ja doch die sich auflösende oder zersetzende Materie wieder zu sammeln und aus den zerstreuten Stoffen den ursprünglichen Körper wieder herzustellen. Freilich wird Niemand im Stande sein, die von dem Reifen eines Rades abgerissenen Eisentheilchen zu verfolgen, oder die bei der Verbrennung einer Kerze sich zerstreuenden und chemisch verändernden Theilchen wieder zu vereinigen. Aber man kann die Materie gewissen Bedingungen der Begrenzung unterwerfen, man kann sie einsperren, und man wird dann, Loth für Loth, Gramm für Gramm, ihre zerstreuten Theilchen wiedergewinnen, unter Umständen sogar wieder vereinigen können. Durch eine solche sorgfältige Verfolgung der kleinsten Spuren sich zerstreuender Materie ist es in der That gelungen, chemische Aequivalentzahlen festzustellen, d. h. Zahlen, welche das Maß der chemischen Thätigkeit jedes Stoffes bestimmen und die Gewichtsmengen angeben, in welchen die einzelnen Stoffe in einem chemischen Processe, etwa zur Herstellung eines Salzes, einander zu ersetzen vermögen. So ist, den Wasserstoff als Einheit genommen, das Aequivalent des Sauerstoffs = 8, das des Zinks = 32,5, das des Eisens = 28. Es sind daher genau 8 Gramm Sauerstoff, welche sich mit $32^1/_2$ Gr. Zink zu Zinkoxyd und mit 28 Gr. Eisen zu Eisenoxydul verbinden; und es sind 28 Gramm Eisenoxydul im Stande, $32^1/_2$ Gr. Zink in einem Salze, etwa dem schwefelsauren, zu ersetzen.

Aehnliche Aequivalentzahlen für das Verhalten der Kräfte zu einander festzustellen, ist Aufgabe der Physik. Sie soll die Wärmemenge bestimmen, welche erforderlich ist, eine gewisse mechanische Arbeit zu verrichten, oder gewisse Elektricitätsmengen zu erzeugen, oder

gewisse chemische Zersetzungen zu bewirken. Sie soll mit einem Worte Zahlen finden, welche die Leistungen der verschiedenen Kräfte messen und mit einander vergleichen lassen, welche die Verhältnisse bestimmen, nach welchen die Kräfte sich in einander verwandeln, in welchen sie einander zu ersetzen vermögen. Daß die Physik diese Aufgabe noch nicht in dem Maße gelöst hat, wie es die Chemie auf dem Gebiete der Materie vermochte, liegt an den großen Schwierigkeiten, die ihr entgegentreten. Kräfte, Bewegungen können nämlich nicht in gleicher Weise eingesperrt werden, wie die Materie. Die Wärme des Feuers dehnt z. B. bei einer Dampfmaschine nicht blos das Wasser aus und bringt dadurch die Bewegung des Stempels hervor, sondern sie dehnt auch das Eisen des Kessels, des Cylinders, kurz der ganzen Umgebung aus, und in dieser Ausdehnung geht eine bedeutende mechanische Kraft verloren. Sodann wird niemals die ganze erzeugte Kraft auf die beabsichtigte Arbeit selbst verwandt, sondern ein Theil ist erforderlich, um vorhandene Widerstände, Schwerkraft, Reibung, Cohäsion, zu überwinden. Wenn aber auch solche Schwierigkeiten die volle Lösung dieser Frage bis jetzt noch vereitelt haben, so hat man sich ihr doch bereits genähert. Wir werden sehen, daß die Kräfte-Aequivalente nicht mehr blos dem Gebiete der physikalischen Hypothesen angehören, daß sie für gewisse Kräfte sogar bereits mit großer Sicherheit festgestellt sind.

Wir haben darum auch nicht mehr zu fürchten, wenn wir das Gebiet der physikalischen Verwandlungserscheinungen betreten, völlig unsicher umhertappen zu müssen. Diese Verwandlung oder Wechselwirkung der Kräfte aber gehört jedenfalls zu den interessantesten Gegenständen der heutigen physikalischen Betrachtung. Das ganze große Gebiet der Anwendungen der Kräfte, sei es, um Bewegungen der verschiedensten Art hervorzurufen, sei es, um Wärme, Licht, Elektricität zu erzeugen, sei es im kleinen Kreise des täglichen Lebens, sei es in dem großartigen der Industrie und der Maschinenarbeit oder dem noch großartigeren der Natur selbst, fällt unter diesen Gesichtspunkt. Wunderbare Prospecte werden sich uns eröffnen in dem Zusammenhange der ewigen ganzen Natur, der sich uns bisher entzog unter der Hülle proteusartiger Verwandlungen.

Zweites Kapitel.

Die Verwandlungserscheinungen der mechanischen Bewegung.

Wenn wir auch keine Anfangskraft im eigentlichen Sinne in der Natur annehmen dürfen, so bildet doch die Bewegung für uns in den meisten Fällen gleichsam den Ausgangspunkt der Erscheinungen. Bewegungen sind überall gegeben, sind durch die ganze Natur verbreitet, erfordern die einfachsten Mittel der Wahrnehmung und erregen darum am ehesten die Aufmerksamkeit. Freilich sind wir nicht immer im Stande, die Bewegung ohne Weiteres als wirkliche Ortsveränderung zu erkennen. Sie nimmt bisweilen andere Formen an, in denen sie uns nicht mehr fühlbar oder sichtbar ist, in denen es zu ihrer Wahrnehmung anderer Sinne, anderer Untersuchungsmittel bedarf, und in denen wir ihr darum auch oft andere Namen gegeben haben. So ist der Schall unzweifelhaft eine Bewegung, die wir aber nur durch das Ohr wahrnehmen können. Wenn wir an das Ende einer langen Stange schlagen, so ist der Ton, den wir am andern Ende wahrnehmen, gewiß nichts Anderes, als der Ausdruck für die Art der auf die Stange übertragenen Bewegung. Ganz in demselben Sinne ist auch das Licht als eine Bewegung erkannt. Wenn das sicherste Kennzeichen der Bewegung die Zeit ist, welche die Körper brauchen, um von einem Punkte des Raumes zum andern zu kommen, so genügt die Thatsache, daß Lichterscheinungen zu zwei verschiedenen Zeiten an zwei verschiedenen Punkten des Raumes erblickt werden, um darin eine Bewegung zu erkennen, wenn wir auch dem Fortschreiten derselben nicht folgen können. Nehmen wir noch hinzu, daß die räumliche oder Massen-Bewegung sehr häufig in eine Bewegung der innersten Theilchen der Körper übergeht, und daß jede Veränderung der Temperatur, jede chemische oder elektrische Wirkung solche Veränderungen im Innern der Körper hervorruft, so können wir dreist behaupten, daß die Natur uns kein einziges Beispiel völliger Ruhe bietet.

Bei dieser Allgemeinheit der Bewegung finden wir in ihr auch die ersten und einfachsten Mittel für unsere Arbeiten. Ganz gewiß sind die ersten menschlichen Arbeiten nur durch vorhandene mechanische Bewegungen in der Natur bewirkt worden, und heute noch übertrifft die Summe der Arbeitskräfte, welche die Form einfacher Bewegung haben, bei weitem die aller andern. Bald ist es die Bewegung des menschlichen Armes oder der thierischen Muskel überhaupt, bald die

durch die Schwerkraft hervorgerufene Bewegung fallenden Wassers, drückender Massen u. s. w., bald die Spannung elastischer Feder, bald die bewegte Luft, welche als Arbeitskraft benutzt wird. Endlich aber ist die Bewegung auch der Zweck der meisten menschlichen Arbeiten.

Darum sind die Verwandlungen, welche die Bewegung erfährt, ihre Uebergänge in andere Erscheinungen, andere Kräfte, von ganz besonderem Interesse. Sie geben uns nicht nur die einfachsten und nächsten Mittel an die Hand, um die verschiedenen für uns oft so wichtigen Naturkräfte wachzurufen, sondern sie lehren uns auch die Verluste kennen und beurtheilen, welche mit jeder Arbeit verbunden sind, und durch welche der Werth der Arbeit so wesentlich bedingt ist.

Wenn die Bewegung also auch nicht als Anfangskraft im eigentlichen Sinne für die Natur gelten kann, weil sie immer wieder andere Bewegungen voraussetzt, so bietet sie doch den geeignetsten Ausgangspunkt für die Betrachtung der Verwandlungen der Kräfte, und das um so mehr, als die mechanische Bewegung das einfachste Arbeitsmaß, die Einheit, für alle arbeitenden Kräfte abgiebt.

Die Verwandlung der mechanischen Bewegung in Wärme und Licht.

Wie noch heute die gewöhnliche Anschauung, so ging früher auch die wissenschaftliche davon aus, daß, wenn die sichtbare oder fühlbare Bewegung eines Körpers durch den Stoß gegen einen andern aufgehoben werde, die Bewegung aufhöre, die Kraft, welche sie verursacht hat, vernichtet sei. Wir wissen jetzt, daß dies ein Irrthum ist, daß die Kraft nicht vernichtet, sondern nur getheilt wird. Sehr oft ist es nur die Veränderung der Richtung, welche die Bewegung unserer Wahrnehmung entzieht. Wenn wir einen Schlag mit der Hand in die Luft führen, so ist die Bewegung, welche dem Anscheine nach aufgehört hat, von der Luft aufgenommen und von dieser in die Mauer des Zimmers u. s. w. übergegangen. Sie dauert fort in Wellen, die sich brechen und hin und her geworfen werden, die wir aber in ihrer weiteren Vertheilung selbst mit den feinsten Meßwerkzeugen nicht mehr zu entdecken vermögen. Während aber die durch einen Schlag der Hand einer unbegrenzten Luftmasse mitgetheilte Bewegung kaum wenige Zoll weit fühlbar ist, wird diese Bewegung noch mehrere Schritte weit recht deutlich empfunden, wenn wir die Bewegung in

ihrer Richtung begrenzen, wenn wir etwa einen Stempel von derselben Fläche wie die Hand mit derselben Schnelligkeit durch ein Rohr treiben. Die Größe der Bewegung ist in beiden Fällen durchaus die gleiche, aber da im letzteren Falle die Richtung der Bewegung eingeengt ist, so bleibt sie länger nachweisbar. Daß bei einer noch größeren Begrenzung der Richtung die Bewegung noch wahrnehmbarer wird, lehrt die Windbüchse. Dieselbe Größe der Bewegung, die hier eine Kugel auf mehr als 100 Schritte forttreibt, würde, der unbegrenzten umgebenden Luft etwa durch das Zersprengen einer Blase mitgetheilt, kaum auf einen Schritt empfunden werden.

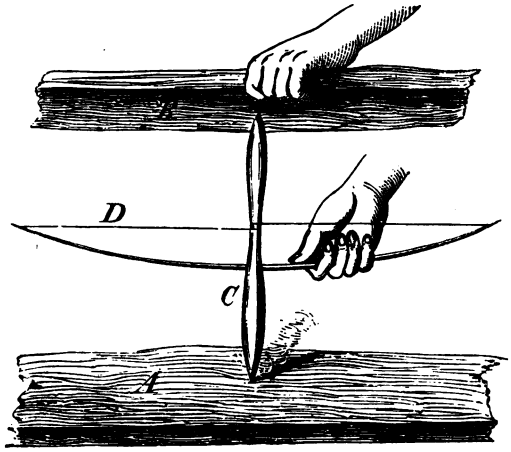
Bisweilen ist aber nicht blos die Richtung der sich scheinbar auflösenden und verschwindenden Bewegung verändert, sondern die Bewegung hat auch andere Eigenschaften angenommen. Es ist an die Stelle der sichtbaren Massenbewegung eine unsichtbare Theilchenbewegung im Innern der Körper getreten, und diese neue Art der Bewegung nennen wir Wärme. Diese Verwandlung der Massenbewegung in Wärme tritt stets ein, wenn ein Körper in seiner Bewegung aufgehalten wird, und zwar ist die Menge der entwickelten Wärme, vorausgesetzt, daß die ursprünglich mitgetheilte Kraftgröße dieselbe ist, in allen Fällen dieselbe, mag der Körper fest oder flüssig, hart oder weich sein. Allerdings wird sich bei flüssigen Körpern die Wärme mehr auf die ganze Masse vertheilen, während sie bei festen Körpern an einzelnen bestimmten Punkten auftritt, und es wird daher schwieriger sein, die zerstreute Bewegung als Wärme wahrzunehmen, als die vereinigt gebliebene.

Daß durch den Stoß oder den Schlag Wärme in festen Körpern erzeugt werden kann, ist eine bekannte Thatsache. Eisen vermag sich unter den Schlägen des Hammers bis zur Glühhitze zu erwärmen; Münzen werden beim Prägen heiß. Aber die bekannteste Quelle der Wärmeentwicklung ist doch die durch Reibung. Sie ist sogar das gewöhnlichste Mittel, sich Feuer zu verschaffen. Der Wilde reibt zwei Holzstücke, von denen das eine sehr hart, das andere weich ist, an einander, um Feuer zu machen. Die Dacotah-Indianer bedienen sich dazu eines 6 Zoll langen, an beiden Enden etwas zugespitzten Stabes (Fig. 150 Seite 529) von hartem trocknem Holze, den sie zwischen zwei Bretter (A und B) durch eine darum geschlungene und lebhaft hin- und hergezogene Schnur (D) in rasche Drehung versetzen. Auch unser altes Feuerzeug, Stahl und Stein, beruht auf der Anwendung durch Reibung entwickelter Wärme, die es bewirkt, daß einzelne ab-

gerissene Stahltheilchen sich bis zum Glühen erhitzen. Eben so werden unsere jetzt gebräuchlichen Streichzündhölzchen durch Wärme entzündet, welche durch Reibung der Zündmasse entwickelt wird, und diese Reibung braucht sogar nur eine sehr geringe zu sein.

So bekannt auch solche Erscheinungen der Wärmeentwickelung durch Reibung längst waren, so oft auch die Erfahrung schon gelehrt haben mußte, daß hölzerne Achsen durch Reibung sich selbst entzünden

Fig. 150.



können, so gerieth doch Alles in Erstaunen, als es Graf Rumford gelang, durch die beim Bohren einer Kanone sich entwickelnde Wärme Wasser zum Sieden zu bringen. Er benutzte dazu den sogenannten „verlorenen Kopf," ein cylindrisches massives Metallstück, das man auf den Mündungstheil der Kanone aufzugießen pflegt. Aus diesem verlorenen Kopfe ließ Rumford einen $9_{,8}$ Zoll langen und $7_{,75}$ Zoll dicken Cylinder drehen, der mit der Kanone nur durch einen kleinen Hals zusammenhing. Dieser Cylinder wurde mit einem oben offenen hölzernen Kasten umgeben, durch dessen eine Wand der erwähnte Hals wasserdicht, aber doch so, daß er sich darin drehen konnte, hindurch ging. In der gegenüberstehenden Wand war die horizontale eiserne Bohrstange befestigt. Der Kasten wurde dann mit $18^3/_4$ Pfund Wasser gefüllt. Bei 32 Umdrehungen der Kanone in der Minute

war nach Verlauf einer Stunde die Temperatur dieses Wassers auf 41° C., nach Verlauf von $1^1/_2$ Stunde auf 61°, nach zwei Stunden auf 81° C. gestiegen. Nach $2^1/_2$ Stunden gerieth das Wasser zum Erstaunen der Umstehenden in's Kochen. In dieser Zeit waren nicht mehr als etwa 17 Loth Bohrspänchen abgerieben worden.

Trotz des Aufsehens, den dieser Versuch machte, trotzdem man sogar längst in der Dampfmaschine die Wärme zur Erzeugung von Arbeit zu verwenden gelernt hatte, verging doch fast ein halbes Jahrhundert, ehe der Gedanke bestimmt ausgesprochen wurde, daß Wärme und Arbeit einander äquivalent seien, d. h. daß eine gewisse Größe mechanischer Arbeit einerseits und eine gewisse Menge Wärme andererseits sich gegenseitig ersetzen können, oder daß eine bestimmte Arbeitsgröße in eine gewisse Arbeitsmenge und umgekehrt umzuwandeln sei. Der praktische Arzt Dr. Mayer in Heilbronn war es, der diesen Gedanken zuerst im J. 1842 aussprach, als es ihm gelungen war, Wasser durch Schütteln von 12° C. auf 13° zu erwärmen und damit festzustellen, daß auch durch die Reibung von Flüssigkeiten an festen Körpern Wärme erzeugt wird.

Näher bestimmt wurde das mechanische Aequivalent der Wärme oder das Verhältniß der durch Reibung erzeugten Wärme zu der dabei aufgewendeten mechanischen Kraft zuerst durch den englischen Physiker Joule, der sich 9 Jahre lang, vom Jahre 1840 bis 1849, fast ausschließlich mit Versuchen zu diesem Zwecke beschäftigte. Er stützte sich dabei zunächst auf die Beobachtung, daß beim Durchgange des Wassers durch enge Röhren Wärme erzeugt wird. Die Methode aber, die ihn zu den sichersten Resultaten führte, war folgende. In einem kupfernen Gefäße wurde durch ein metallenes Schaufelrad eine Flüssigkeit in rasche Bewegung versetzt. Die Kraft, welche dem Schaufelrade die rotirende Bewegung mittheilte, war ein fallendes Gewicht, ähnlich dem bei einer Uhr wirkenden, und ließ sich also leicht messen. Die Flüssigkeit diente zugleich als Mittel der Reibung und als Wärmemesser. War die Flüssigkeit Wasser, so fand sich, daß ein Kraftaufwand von 464 engl. Fußpfund erforderlich war, um 1 Pfund Wasser um $0,_6^0$ F. zu erwärmen. Ein Kraftaufwand von $773,_{64}$ Fußpfund wäre also nöthig gewesen, um die Temperatur von 1 Pfund Wasser um 1° F. zu erhöhen. Führen wir das engl. Fußpfund auf das französische Maßsystem zurück, und bestimmen wir die Temperatur nach der 100theiligen Scala, so finden wir einen Kraftaufwand von

425 Kilogrammometern erforderlich, um 1 Pfund Wasser um 1° C. zu erwärmen.

Wir haben in dieser Zahl offenbar ein Maß für die Wärmewirkung durch mechanische Arbeit und ein Mittel, beide mit einander zu vergleichen. Bezeichnen wir eben so, wie wir als Arbeitseinheit das Kilogrammometer, d. h. die Arbeit bezeichnet hatten, die erforderlich ist, 1 Kilogramm 1 Meter hoch zu heben, als Wärmeeinheit die Wärmemenge, welche erforderlich ist, 1 Kilogramm Wasser um 1° C. zu erwärmen, so entspricht eine Wärmeeinheit 425 Kilogrammometern. Das heißt mit andern Worten: Dieselbe Kraft, welche im Stande ist, 425 Kilogramme 1 Meter oder 1 Kilogramm 425 Meter hoch zu heben, ist hinreichend, um die Temperatur von 1 Kilogramm Wasser um 1° C. zu erhöhen. Wir haben also das mechanische Aequivalent der Wärme gefunden. Nach preußischem Maßsysteme würden 1354 Fußpfund erforderlich sein, um 1 Pfund Wasser um 1° C. zu erwärmen, und eine Wärmeeinheit also 1354 Fußpfunden entsprechen. Wir werden uns indeß im Folgenden, um keine Irrungen zu veranlassen, stets der nach französischem Maßsysteme ausgedrückten Wärme- und Arbeitseinheiten bedienen.

Die Versuche, aus welchen Joule sein Wärmeäquivalent ableitete, sind mit einer außerordentlichen Feinheit angestellt. Die Resultate sind zwar nicht völlig übereinstimmend, schwanken aber doch nur zwischen engen Grenzen. So fand sich bei der Reibung im Quecksilber ein Kraftaufwand von $426{,}_5$ Kilogrammometern, bei der Reibung gußeiserner Platten an einander ein Kraftaufwand von $425{,}_7$ Kilogrammometern erforderlich, um eine Wärmeeinheit zu erzeugen. Andere Physiker haben abweichendere Zahlenwerthe gefunden. Doch kann man mit ziemlicher Sicherheit annehmen, daß zur Hervorbringung einer Wärmeeinheit auf mechanischem Wege im Mittel ein Kraftaufwand von 436 Kilogrammometern nöthig ist.

Man begreift nun wohl die bedeutenden Arbeitsverluste, welche durch Reibung und überhaupt durch die Hindernisse der Bewegung bewirkt werden. Bei jenem Rumford'schen Versuche, wo durch das Bohren einer Kanone Wasser zum Sieden gebracht wurde, waren nicht weniger als 825 Wärmeeinheiten erzeugt worden, die einem Kraftverluste von mindestens 350,000 Kilogrammometern entsprechen. Wo es gilt, solche Verluste zu vermeiden, oder wo die Verwandlung der Bewegung in Wärme gefahrvoll wird, da bleibt nur übrig, entweder den Widerstand leistenden Körper selbst an der Bewegung

theilnehmen, oder die Bewegung in Flüssigkeiten vor sich gehen zu lassen. So wird die durch Reibung der Radachse entstehende Wärme verringert, wenn man die Achse mit beweglichen Rollen umgiebt, da diese einen Theil der ursprünglichen Bewegung in sich aufnehmen, und um ebenso viel weniger Wärme natürlich entwickelt wird. Spröde Körper, wie Kiesel, Stahl, harte Steine, Glas, Metalle, entwickeln die größte Wärmemenge durch Reibung, Flüssigkeiten, wie Wasser, Oel ꝛc., die geringste. Bei ihrer großen Beweglichkeit werden die Theilchen der Flüssigkeit selbst in Bewegung gesetzt, setzen also wieder die ursprüngliche Bewegung fort und verhindern deren Umwandlung in Wärme. Darum werden mit Recht die Achsen der Räder geölt.

Wie durch Reibung oder Gegenstoß, so kann auch durch Einsperrung oder Zusammenpressung eine Bewegung aufgehalten werden, und auch dann muß Wärme entwickelt werden. Dies geschieht in der That sowohl beim Abplatten einer Eisenstange durch die Schläge eines Hammers, als wenn man die Ausdehnung eines Gases durch mechanische Mittel unmöglich macht oder ein Gas zusammendrückt. Darauf beruht ja die Wirkung des sogenannten pneumatischen Feuerzeugs. Hier wird ein luftdicht anschließender Stempel, an dem sich unten ein Stückchen Feuerschwamm befindet, mit Heftigkeit in einen Cylinder gestoßen. Die darin befindliche Luft wird dadurch plötzlich zusammengedrückt, und da sie die ursprüngliche Bewegung nicht in sich aufnehmen oder weiter führen kann, so verwandelt sich diese in ihr in Wärme, die sich der ganzen Umgebung mittheilt und so groß ist, daß sie den Feuerschwamm entzündet. Joule hat auch diese Erscheinung benutzt, um das Verhältniß des mechanischen Kraftaufwandes zu der dabei erzeugten Wärmemenge zu ermitteln, und er hat gefunden, daß ein Kraftaufwand von 451 Kilogrammometern erforderlich ist, um durch Verdichtung der Luft eine Wärmeeinheit zu erzeugen.

Es ist ganz selbstverständlich, daß im umgekehrten Falle, wenn man durch eine mechanische Bewegung die Luft zwingt, sich auszudehnen, wenn man sie also verdünnt, der Umgebung Wärme entzogen, d. h. Kälte erzeugt werden muß, gerade wie auch ein fester Körper, wenn er sich ausdehnt, im Allgemeinen seine Nachbarschaft erkältet, indem er sie zwingt, sich zusammenzuziehen. Es ist nämlich hier Bewegung erzeugt worden, also Wärme verloren gegangen oder vielmehr in jene Bewegung umgewandelt worden.

Verwandlung der Bewegung in Elektricität.

Die Erzeugung von Wärme durch Reibung ist zu auffallend, als daß sie übersehen werden konnte. Lange Zeit war man ja auf dieses Mittel allein hingewiesen, um sich die für den häuslichen Gebrauch nöthige Wärme zu verschaffen, oder wenigstens um die gewöhnliche Wärmeerzeugung durch Feuer einzuleiten. Denn allerdings beschränkte man sich darauf, die mechanische Arbeit nur zur Entzündung des Feuers zu benutzen, da es durchaus unzweckmäßig und unvortheilhaft sein würde, etwa durch Reibung sich alle Wärme bereiten zu wollen. Um ein Quart Wasser durch Reibung zum Kochen zu bringen, würde ja ein Kraftaufwand von 48,800 Kilogrammometern erforderlich sein, und wenn man unter einer Pferdekraft die Kraft versteht, welche im Stande ist, 75 Kilogramme in 1 Secunde 1 Meter hoch zu heben, so würde man nicht weniger als 650 Pferdekräfte gebrauchen, um das Quart Wasser zum Sieden zu bringen. Man hält sich darum mit Recht an jene Kraftmagazine, die kohlenstoffhaltigen Substanzen, durch deren Verbrennung, wie wir sehen werden, die darin aufgespeicherte Sonnenwärme frei und dem Menschen dienstbar gemacht wird.

Es ist gewiß begreiflich, daß man über den auffallenden Wirkungen der Reibung lange Zeit hindurch eine andere Wirkung völlig übersehen konnte, welche gleichwohl, seit man sie kennen gelernt hat, eine außerordentliche Rolle in der Wissenschaft wie im Leben spielt. Unter gewissen Umständen verwandelt sich nämlich die mechanische Bewegung bei der Reibung nicht in Wärme, sondern in Elektricität. Man kann wohl ganz allgemein behaupten, daß Wärme entsteht, wenn die Körper, die gegen einander reiben, gleichartig sind, daß aber Elektricität durch die Reibung erzeugt wird, wenn die Körper ungleichartig sind. Schon vor 20 Jahren hat Erman durch Versuche nachgewiesen, daß durch die Reibung vollkommen gleicher Körper, z. B. der zwei Hälften einer zerbrochenen Siegellack- oder Glasstange, keine Elektricität entsteht. Nicht selten will man allerdings auch in solchem Falle schwache elektrische Ströme beobachtet haben; doch sind diese einerseits sehr unbedeutend, während es andererseits kaum möglich ist, die Bedingungen vollkommener Gleichartigkeit, sei es in den Substanzen selbst, sei es in ihrem Durchmesser, ihrer Temperatur ꝛc., praktisch herzustellen. Im Allgemeinen kann man annehmen, daß die entwickelte Elektricitätsmenge um so größer ist, je

stärker die gegen einander reibenden Substanzen durch ihre physikalischen und chemischen Eigenschaften von einander abweichen, je mehr sie sich namentlich durch ihr Leitungsvermögen unterscheiden.

Wir haben bereits gesehen, daß die Reibung diejenige Quelle der Elektricität war, durch welche diese zuerst bekannt wurde. Bei der Elektrisirmaschine, beim Elektrophor wendet man noch gegenwärtig die Reibung von Zinnamalgam und Glas, von Katzenpelz und Harz gegen einander an, um Elektricität zu erzeugen. Eine der kräftigsten Quellen der Elektricität hat man aber seit dem Jahre 1840 in der Reibung des Dampfes gegen die Wände der Oeffnung, aus welcher er ausströmt, kennen gelernt. Der Engländer Armstrong wurde nämlich in jenem Jahre benachrichtigt, daß in der Nähe von Newcastle beim Ausströmen des Dampfes aus einer Fuge in der Nähe des Sicherheitsventils einer Dampfmaschine eine ungewöhnliche elektrische Erscheinung beobachtet worden sei. Der Maschinenwärter hatte zufällig die eine Hand in den Dampfstrahl gehalten, während er mit der andern nach dem Ventil faßte, um die Belastung desselben zu reguliren, und es war dabei ein Funke zwischen dem Hebel und seiner Hand übergesprungen, während er zugleich einen heftigen elektrischen Schlag empfunden hatte. Armstrong, der diese Angaben bestätigt fand, nahm daraus Veranlassung, die beim Ausströmen des Dampfes frei werdende Elektricität zur Construction einer Elektrisirmaschine zu benutzen, die er Hydroelektrisirmaschine oder Dampfelektrisirmaschine nannte. Sie besteht aus einem cylinderförmigen Dampfkessel, der durch sechs starke Glasgefäße isolirt ist. Der Dampf entweicht aus mehreren durch Hähne verschließbaren Röhren, an deren Mündung ein Röhrchen von hartem Holze eingesetzt ist, was die Wirkung bedeutend verstärkt. Vor seinem Ausströmen aber geht der Dampf noch durch einen mit kaltem Wasser gefüllten Kasten hindurch, so daß ein Theil desselben condensirt wird, was gleichfalls zur Verstärkung der Wirkung beiträgt. Sobald der Dampf mit hinlänglicher Spannkraft aus den Oeffnungen hervorströmt, wird der Kessel elektrisch. Auch der Dampf ist elektrisch, nur hat er die entgegengesetzte Elektricität, wie der Kessel. Um daher eine möglichst kräftige Wirkung zu erhalten, muß die Elektricität des Dampfes abgeleitet werden. Dies geschieht dadurch, daß man in den Dampfstrom eine Reihe von Metallspitzen stellt, welche an einem messingenen Conductor befestigt sind, der mit dem Erdboden in leitende Verbindung gebracht werden kann. Die Wirkung einer solchen Maschine ist stark genug, daß man

bei einem Kessel von nur 3 Fuß Länge und $1^1/_2$ Fuß Durchmesser mit der entwickelten Elektricität in Zeit von 30 Secunden eine Batterie von 36 Quadratfuß Oberfläche vollständig laden kann.

Daß die Elektricität hier wirklich nur durch die Reibung des Dampfes an den Wänden der Ausflußröhrchen, und nicht etwa, wie man anfangs meinte, durch die Dampfbildung erzeugt wird, geht daraus hervor, daß alle Elektricität augenblicklich verschwindet, sobald man das Sicherheitsventil öffnet, obgleich die Dampfbildung noch ununterbrochen fortgeht. Dafür spricht auch die verstärkende Wirkung der theilweisen Condensirung der Wasserdämpfe, da offenbar die mit den Dämpfen gemischten Wassertheilchen die Reibung vermehren. Endlich aber wird der sicherste Beweis dafür durch den Einfluß geliefert, welchen die Beschaffenheit der Ausströmungsröhre auf die Art der Elektricität hat. Wird die Mündung dieser Röhre durch ein Holzröhrchen gebildet, so ist der Kessel positiv, der Dampf negativ elektrisch. Bei einer metallenen oder gläsernen Mündung ist dasselbe der Fall, nur ist die Elektricität schwächer. Bei einer elfenbeinernen Röhre zeigt der Kessel kaum Spuren einer elektrischen Ladung. Bringt man vollends etwas Terpentinöl oder ein fettes Oel in die Ausströmungsröhre, so wird der Kessel positiv und der Dampf negativ elektrisch.

Wenn so die mechanische Bewegung bei der Reibung selbst von Flüssigkeiten und Dämpfen unmittelbar in Wärme und Elektricität übergeht, je nachdem gleichartige oder verschiedenartige Körper sich an einander reiben, so findet eine Verwandlung der Bewegung in Licht oder Magnetismus im Allgemeinen nur durch Vermittelung der Wärme oder Elektricität, namentlich der letzteren, statt. Beweise dafür sind die elektrischen Funken, welche die durch Reibung entstandenen elektrischen Ströme begleiten, wie die magnetischen Wirkungen dieser elektrischen Ströme. In den Zersetzungen oder Verbindungen, welche bewirkt werden, wenn die Enden der mit den Conductoren einer Elektrisirmaschine verbundenen Drähte in verschiedene chemische Flüssigkeiten getaucht werden, in den Erscheinungen der Anziehung und Abstoßung, der Abweichung der Magnetnadel, den Drehungen des elektrischen Rades ꝛc., sehen wir weitere Glieder in der Reihe der Verwandlungserscheinungen, die ursprünglich durch die mechanische Bewegung hervorgerufen wurden. Als letztes Glied kann also sogar die Bewegung selbst wieder auftreten in Folge einer Rückverwandlung der durch die Bewegung hervorgerufenen Kräfte in ihre erste Ursache. Wir

sehen damit, wie wenig die Kräfte sich in dem Verhältniß von Ursache und Wirkung auffassen lassen, wie wenig man berechtigt ist, irgend eine Kraft als erste oder Anfangskraft den andern gegenüber zu stellen, wie sehr man gezwungen ist, alle physikalischen Erscheinungen als wechselnde Formen der einen Bewegnng zu betrachten.

Wenn mir im Allgemeinen die Elektricität die wichtigste Vermittelungsrolle in dieser Verwandlung der Kräfte werden spielen sehen, und wenn namentlich der Magnetismus fast nie anders, als durch sie hervorgerufen, uns entgegentritt, so giebt es doch einige Erscheinungen, in denen eine mechanische Bewegung ziemlich unmittelbar eine magnetische Wirkung ausübt. Wir wissen nämlich, daß eine vertical hängende Eisenstange unter dem Einflusse des Erdmagnetismus magnetisch wird, daß sie die magnetische Eigenschaft aber mit dem Aufhören dieses Einflusses wieder verliert. Einige Schläge mit dem Hammer reichen nun hin, diesen Magnetismus zu fixiren und die Stange zu einem bleibenden Magnet zu machen. Wir haben schon angedeutet, daß fast alle Werkzeuge in der Werkstatt eines Schlossers in Folge dessen Magnete sind. Offenbar bewirkt die Erschütterung hier eine Theilchenbewegung im Innern des Eisens, welche die Rückkehr der durch den Magnetismus bewegten Theilchen in die ursprüngliche Lage verhindert.

Drittes Kapitel.

Die Verwandlungserscheinungen der Wärme.

Wenn schon die innige Beziehung zwischen Licht- und Wärmestrahlen dahin führen mußte, auch die Ursache der Wärmeerscheinungen in Schwingungen zu suchen, so nöthigt die Wärmeerzeugung durch mechanische Mittel, namentlich durch Reibung, vollends, die Wärme als Bewegungserscheinung aufzufassen. An eine Erzeugung von Wärmestoff kann man bei dem Rumford'schen Versuche unmöglich denken, und noch weniger bei einem von Humphrey Davy angestellten Versuche. Letzterem gelang es, zwei Eisstücke durch Reibung an einander in einem luftleeren, unter den Gefrierpunkt erkalteten *Raume zu schmelzen*. In beiden Fällen konnte eine Zuleitung von

Wärme von außen nicht stattfinden, und die zum Sieden des Wassers oder zum Schmelzen des Eises erforderliche Menge konnte nur aus der Reibung, also aus der Bewegung selbst, hervorgehen. Rumford sowohl wie Davy zogen daraus mit Recht den Schluß, daß die Wärme als Bewegungserscheinung aufgefaßt werden müsse. Diese Bewegung, die der Wärme zu Grunde liegt, ist, wie schon der Philosoph Locke im 17. Jahrhundert sich ausdrückte, eine „lebhafte Erschütterung der unmerkbar kleinen Theile eines Körpers", eine Bewegung der kleinsten Körpertheile oder Moleküle, die im Gegensatze zu der anziehenden Kraft der Cohäsion das Streben besitzt, die Theilchen von einander zu trennen oder zu entfernen.

Wenn wir die Wärme nur nach ihren Wirkungen betrachten, so finden wir, daß diese, mit wenigen, jedenfalls auch nur scheinbaren Ausnahmen, in einer Erweiterung oder Ausdehnung der Materie bestehen, und daß die durch die Wärme ausgedehnte Materie das Vermögen hat, indem sie sich allmälig wieder zusammenzieht, die Ausdehnung allen mit ihr in Berührung stehenden Stoffen mitzutheilen, also auch in diesen Wärmeerscheinungen hervorzurufen. Darauf beruht auch unser gewöhnliches Verfahren, einen Körper zu erwärmen. Wie nähern ihn einfach einem andern erwärmten oder ausgedehnten Körper, und dieser kühlt sich ab oder zieht sich zusammen in demselben Maße, in welchem der genäherte Körper sich ausdehnt.

Bei einer solchen Auffassung der Wärme als Bewegung ist nicht nur die Umwandlung der Massenbewegung in Wärme begreiflich, sondern auch umgekehrt die Möglichkeit gegeben, Wärme in Massenbewegung zu verwandeln. Eine solche Verwandlung ist es sogar, auf welcher alle unsere Wärmemessung beruht, sei es durch Thermometer oder Pyrometer. Immer ist es die Bewegung eines Körpers, an welcher wir den Wärmegrad bestimmen; feste, flüssige oder luftförmige Körper werden ausgedehnt oder verlängert, d. h. in einer bestimmten Richtung bewegt, und zeigen entweder durch ihre eigene sichtbare Bewegung oder durch die Bewegung eines Zeigers oder einer Nadel unsern Sinnen die Größe der Kraft an, durch welche sie in Bewegung gesetzt sind. Indem man solche Werkzeuge als Wärmemesser anwendet, setzt man als ganz selbstverständlich voraus, daß, sobald durch Wärme eine bestimmte mechanische Arbeit verrichtet wird, auch stets die bestimmte gleiche Menge Wärme als solche vrrschwunden ist.

Auf dieser Ausdehnung durch die Wärme, die nichts Anderes ist, als die Folge einer inneren Theilchenbewegung, welche das

Streben hat, die Theilchen von einander zu entfernen, beruht überhaupt jede mechanische Arbeitsleistung der Wärme. In dem Fortschreiten dieser Bewegung aber treten in Veranlassung jener Zusammenhangskraft, welche die verschiedenen Aggregatzustände der Körper bedingt, noch eigenthümliche Erscheinungen ein, welche anscheinend der mechanischen Wärmetheorie widersprechen und lange zur Unterstützung der Ansicht von einem durch die Körper aus- und einströmenden Wärmestoffe gedient haben.

Die latente Wärme bei Veränderung der Aggregatzustände.

Der Aggregatzustand eines Körpers hängt bekanntlich ganz allein von seiner Temperatur ab. Eine gewisse Erhöhung der Temperatur verwandelt den festen Körper in einen flüssigen, den flüssigen in einen gasförmigen, und eine gewisse Erniedrigung der Temperatur führt die luftförmigen Körper wieder in den flüssigen, die flüssigen Körper in den festen Zustand zurück. Jede Substanz hat einen bestimmten Schmelzpunkt, d. h. der Uebergang aus dem festen in den flüssigen Zustand findet für jede Substanz unter allen Umständen bei derselben Temperatur statt. Gehämmertes Eisen schmilzt bei 1600° C., Silber bei 1000°, Blei bei 334°, Schwefel bei 109°, Phosphor bei 43°, Eis bei 0°, Quecksilber bei — 40° C. Metallegirungen haben auffallender Weise meist einen tieferen Schmelzpunkt, als die einzelnen Metalle, aus denen sie bestehen. So schmilzt eine Legirung, die aus 4 Gewichtstheilen Wismuth, 1 Gewichtstheil Blei und 1 Gewichtstheil Zinn besteht, schon bei 94° C., während Wismuth für sich erst bei 256°, Blei für sich bei 334° und Zinn für sich bei 230° C. schmelzen. Ebenso hat jede Substanz, den gleichen Luftdruck vorausgesetzt, ihren bestimmten Siedepunkt, d. h. das Sieden oder die Dampfbildung durch die ganze Masse der Flüssigkeit beginnt für jede Substanz bei demselben Temperaturgrade. So liegt der Siedepunkt des Quecksilbers bei 350° C., der Schwefelsäure bei 310°, des Terpentinöls bei 157°, des Wassers bei 100°, des Alkohols bei $77^1/_2$°, des Schwefeläthers bei $37,_8$°, der schwefligen Säure bei — 10° C.

Bei diesem Uebergange der Körper aus einem Aggregatzustande in den andern tritt nun die auffallende Erscheinung ein, daß die *Temperatur* des Körpers durch die von außen eindringende Wärme

nur so lange eine Erhöhung erfährt, als der Uebergang in die andere Aggregatform noch nicht begonnen hat, daß aber während des Ueberganges selbst, also während des Schmelzens oder Siedens, die Temperatur unverändert bleibt, wie viel Wärme man auch zuführen mag.

Bringt man an einem kalten Wintertage ein Gefäß mit Schnee in ein geheiztes Zimmer und steckt dann ein Thermometer in den Schnee, so wird dies anfangs auf mehrere Grade unter den Gefrierpunkt sinken. Allmälig aber beginnt die Wärme der Zimmerluft zu wirken, der Schnee erwärmt sich, und das Thermometer steigt. Sobald es den Nullpunkt erreicht hat, fängt der Schnee an zu schmelzen, und so lange dieses Schmelzen währt, steigt das Thermometer nicht mehr, sondern bleibt auf dem Nullpunkte stehen. Erst wenn sämmtlicher Schnee in Wasser umgewandelt ist, zeigt das Steigen des Thermometers wieder eine Wärmezunahme in dem Wasser an. Das Wasser nimmt endlich die Temperatur des Zimmers an. Erhitzt man es nun weiter durch Feuer, das man unter dem Gefäße anbringt, so wächst die Temperatur des Wassers, bis das Thermometer 100^0 zeigt. In diesem Augenblicke, wo das Wasser zu sieden beginnt, tritt abermals ein Stillstand ein. Das Thermometer bleibt, so lange das Wasser siedet, unveränderlich auf 100^0 stehen, trotz der beständig zugeführten Wärme.

Diese Wärme, welche dem Eise oder Wasser während des Schmelzens oder Siedens zugeführt wird, ohne eine Erhöhung der Temperatur zu bewirken, welche vielmehr allein zur Veränderung des Aggregatzustandes verwendet wird, bezeichnet man als *gebundene* oder *latente* Wärme. Diese Bezeichnung beruht noch auf der alten Annahme eines Wärmestoffes in den Körpern. Die latente Wärme wird nämlich danach als ein Wärmestoff im schlafenden oder maskirten Zustande gedacht, der, mit der gewöhnlichen Materie eng verbunden, sich durch kein Zeichen äußerlich erkennen zu geben vermag, so lange die Materie, an die er gebunden ist, in demselben physischen Zustande bleibt, der aber andern Körpern mitgetheilt oder von ihnen verschluckt werden kann, wenn die mit ihm verbundene Materie ihren Zustand ändert. Mischt man daher ein Pfund Wasser von 79^0 C. mit einem Pfunde Wasser von 0^0, so nimmt diese Mischung die mittlere Temperatur von $39{,}5^0$ C. an Mischt man aber ein Pfund Wasser von 79^0 mit einem Pfunde Eis oder Schnee von 0^0, so erhält man zwei Pfund Wasser von 0^0. Im ersteren Falle befanden sich beide

Körper in dem gleichen physischen Zustande, und es konnte daher keine latente Wärme wahrnehmbar werden. Im zweiten Falle aber hat das Eis seinen Zustand geändert, und alle Wärme, welche das heiße Wasser bei seiner Erkaltung von 79° bis auf 0° abgegeben hat, ist dazu verwandt worden, das Eis von 0° in Wasser von 0° zu verwandeln. Die Wärme ist in diesem Wasser latent geworden und bleibt so lange mit ihm verbunden, als dasselbe flüssig bleibt, ohne daß sie durch irgend ein wärmemessendes Werkzeug nachgewiesen werden kann.

Diese latente Wärme, die für jede Substanz wieder eine bestimmte, für Wasser, wie wir gesehen haben, 79° oder genauer $79{,}_{25}^{0}$ C., für Phosphor 5°, für Zinn 14°, für Zink 28°, für Quecksilber $2{,}_{8}^{0}$ ist, gehört zu den wichtigsten Erscheinungen der Wärmelehre und spielt im Haushalte der Natur und des Menschen oft eine bedeutende Rolle. Man benutzt die Wärmebindung beim Flüssigwerden fester Körper, um künstliche Kälte zu erzeugen. Eine solche Wärmebindung tritt nämlich auch ein, wenn ein lösliches Salz in Wasser oder in einer Säure aufgelöst wird. Mischt man daher 1 Pfund Kochsalz mit 3 Pfund Schnee von 0°, so vereinigen sich der Schnee und das Salz vermöge ihrer chemischen Verwandtschaft zu einer flüssigen Masse, und die Temperatur sinkt auf $-17{,}_{7}^{0}$ C. Ein noch höherer Kältegrad wird durch eine Mischung von 3 Theilen salzsauren Kalkes mit 2 Theilen Schnee erzielt; das Thermometer sinkt dabei bis auf — 28°. Auch eine Mischung von Wasser und löslichen Salzen führt eine starke Erkaltung herbei. Eine bekannte Kältemischung dieser Art, deren sich die Conditoren bedienen, um im Sommer Eis zu bereiten, ist die Mischung von 5 Theilen Salmiak und 5 Theilen Salpeter mit 19 Theilen Wasser. Noch wirksamer ist eine Mischung von gleichen Gewichtstheilen salpetersauren Ammoniaks und Wasser.

Dieselbe Wärmemenge, welche beim Schmelzen eines festen Körpers gebunden wird, wird beim Erstarren des flüssigen Körpers wieder frei. Diese freiwerdende Wärme ist es, welche bewirkt, daß das Gefrieren des Wassers bei der gewöhnlichen Erstarrungstemperatur nur langsam und allmälig vor sich geht, nicht auf einmal, wie es ohne latente Wärme geschehen müßte. Sobald die Temperatur des Wassers auf 0° gesunken ist, beginnt in der Regel gleichzeitig an mehreren Punkten das Erstarren. Die zuerst erstarrenden Theilchen geben dabei ihre latente Wärme an die benachbarten ab, welche dadurch

noch einige Augenblicke flüssig erhalten werden. Man bemerkt daher feine Eisblättchen und Eisnadeln, die in der flüssigen Masse gleichsam fortwachsen. Eine Erhöhung der Temperatur in Folge der freiwerdenden Wärme wird natürlich nicht wahrgenommen, da diese sich nach und nach durch die ganze Masse zerstreut.

Von dem Freiwerden gebundener Wärme beim Festwerden eines flüssigen Körpers kann man sich aber durch eine Erscheinung überzeugen, die zuerst Fahrenheit im Jahre 1714 beobachtete. Wenn man nämlich reines Wasser in einem Gefäße vor jeder Erschütterung schützt und von seiner Oberfläche jeden Luftzug, etwa durch Uebergießen mit etwas Oel, abhält, so kann es bis auf 10, ja 12 Grade unter dem Gefrierpunkte erkaltet werden, ohne zu gefrieren. Sobald aber das Gefäß auf irgend eine Weise erschüttert wird, so bilden sich auf einmal durch die ganze Wassermasse feine Eisblättchen, und die Temperatur des Wassers steigt augenblicklich auf 0°. Enthielt das Gefäß etwa 8 Loth Wasser, und war dasselbe auf — 10° erkaltet, so verwandelt sich bei der Erschütterung 1 Loth Wasser in Eis. Dadurch wurden nahezu 80 Wärmeeinheiten frei, welche sich auf die Masse von 8 Loth vertheilten und sie so um 10° erwärmten.

Wie beim Gefrieren des Wassers, so wird auch beim Erstarren anderer Flüssigkeiten die gebundene Wärme frei. Namentlich tritt uns das häufig entgegen, wenn Salze aus flüssigen Lösungen herauskrystalliſiren, oder wenn durch chemische Anziehung aus flüssigen Körpern eine feste Verbindung hervorgeht. Am bekanntesten ist die Erhitzung, welche eintritt, wenn gebrannter Kalk mit Wasser übergossen wird. Hier bildet sich zwischen Kalk und Wasser eine Verbindung in fester Form, und diese Ueberleitung des Wassers aus dem flüssigen in den festen Zustand kann nicht ohne das Freiwerden bedeutender Wärmemengen stattfinden.

Wie bei dem Uebergange aus dem festen in den flüssigen Zustand, so wird auch beim Uebergange aus dem flüssigen in den luftförmigen Zustand Wärme gebunden, und zwar findet diese Wärmebindung in ganz gleicher Weise sowohl bei dem eigentlichen Sieden in der Temperatur des Siedepunktes statt, als bei jener allmäligen Dampfbildung in niedrigerer Temperatur, die wir als Verdunstung bezeichnen. Daß beim Sieden Wärme gebunden wird, geht schon daraus hervor, daß die Temperatur der Flüssigkeit während des Siedens unverändert bleibt. Die Temperatur des siedenden Wassers bleibt 100°, wie man auch das Feuer verstärken möge, und alle Wärme, welche

das Feuer an das Gefäß und durch dieses an das Wasser abgiebt, geht für das Gefühl, wie für das Barometer verloren, und dient allein dazu, das Wasser von 100° in Dampf von 100° zu verwandeln.

Da bei der Verdunstung in niedrigerer Temperatur die zur Dampfbildung nöthige Wärme theils dem verdunstenden Wasser selbst, theils den damit in Berührung stehenden Körpern entzogen wird, so kann man sich von der dabei stattfindenden Wärmebindung leicht auch durch das Gefühl überzeugen. Man darf nur einige Tropfen einer leicht verdampfenden Flüssigkeit, etwa Weingeist oder Schwefeläther, auf die Hand gießen, und man wird sofort das Gefühl von Kälte haben, weil die zum Verdampfen der Flüssigkeit erforderliche Wärme der Hand entzogen wird. Umwickelt man die Kugel eines Thermometers mit Baumwolle und beträpfelt diese dann mit Schwefeläther, so kann das Thermometer, namentlich wenn man die Verdunstung durch rasches Hin- und Herschwenken beschleunigt, bis unter den Gefrierpunkt herabsinken. Die erfrischende Kühle, welche wir empfinden, wenn wir uns an heißen Tagen der Zugluft aussetzen, ist keineswegs eine Wirkung wirklich kalter Luft, sondern nur der lebhaften Verdunstung, welche die bewegte Luft auf unserer Haut erzeugt. Es ist dieselbe, nur weit empfindlichere Kälte, welche wir fühlen, wenn wir aus dem Bade steigen. In einer warmen, ganz mit Dämpfen gesättigten Atmosphäre, die wir bekanntlich schwül nennen, kann keine Verdunstung stattfinden, und wir empfinden darum diese Schwüle weit unangenehmer, als eine selbst wärmere, trockene Luft, in welcher durch rasche Verdunstung des hervorbrechenden Schweißes die Haut fortwährend abgekühlt wird.

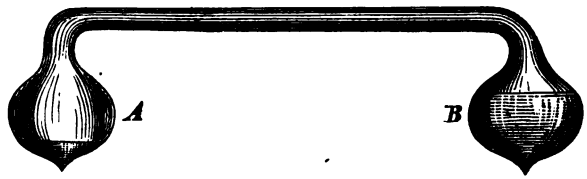
Die Menge der Wärme, welche bei der Verdunstung oder Dampfbildung gebunden wird, ist weit beträchtlicher, als die beim Schmelzen gebundene. Annähernd kann man sie bestimmen, wenn man eine genau gewogene Menge Wasser in einem Kolben zum Sieden bringt und die entstandenen Dämpfe durch ein schlangenförmig gewundenes Rohr in ein Gefäß leitet, welches eine größere, ebenfalls genau gewogene Menge kalten Wassers enthält. Die Erhöhung der Temperatur, welche diese Wassermasse in Folge der Verdichtung der Dämpfe erleidet, ergiebt die Menge der bei der Dampfbildung gebundenen Wärme. Rumford hat aus seinen Versuchen für diese latente Wärme des Wasserdampfes 557° C. abgeleitet, während die neueren genauen Versuche von Brix sie zu 540°, die von Despretz zu 531° und die von Regnault zu 537° bestimmt haben. Die Wärmemenge, welche

beim Verdunsten oder Verdampfen von einem Pfunde Wasser gebunden wird, oder welche erforderlich ist, um Wasser von 100° in Dampf von 100° zu verwandeln, ist also so groß, daß dieselbe Wärmemenge hinreichen würde, um 540 Pfund Wasser um 1° zu erwärmen, oder um fast $5^1/_2$ Pfund Wasser von 0° in Wasser von 100° zu verwandeln.

Dieser bedeutende Wärmeverlust bei der Verdampfung macht dieselbe zu einem noch weit kräftigeren Mittel, um künstliche Kälte zu erzeugen, als die erwähnten Kältemischungen, bei denen die Kälte durch die Wärmebindung schmelzender fester Körper erzeugt wird. Auf dieser Verdunstungskälte beruht das Gefrieren des Wassers unter dem Recipienten einer Luftpumpe, wenn sich in seiner Nähe ein Gefäß mit concentrirter Schwefelsäure befindet. In Folge der Luftverdünnung und Verminderung des Luftdruckes beginnt nämlich, wie wir weiter unten sehen werden, das Wasser sehr lebhaft zu verdampfen, und da diese Wasserdämpfe sofort nach ihrem Entstehen von der Schwefelsäure verschluckt werden, so erneuert sich die Verdampfung beständig. Die große Menge von Wärme aber, deren das Wasser zu dieser Verdampfung bedarf, vermag es bei der großen Schnelligkeit, mit welcher dieselbe vor sich geht, nirgends anders herzunehmen, als aus dem zurückbleibenden Wasser selbst und den Wänden des Gefäßes, welches dasselbe einschließt. In wenigen Minuten ist daher dieses zurückbleibende Wasser in Eis verwandelt.

Etwas Aehnliches geschieht in dem Wollaston'schen Kryophor. Es ist ein Apparat, der aus zwei Glaskugeln besteht, die durch ein an beiden Enden rechtwinkelig umgebogenes, nicht zu enges Glasrohr verbunden sind (Fig. 151). Die eine dieser Kugeln ist bis zur

Fig. 151.



Hälfte mit Wasser gefüllt; im Uebrigen ist der Apparat völlig luftleer, da die letzte Oeffnung erst zugeschmolzen wurde, nachdem durch Auskochen alle Luft ausgetrieben war. Taucht man nun die leere Kugel

in kaltes Wasser, oder noch besser in eine Kältemischung, etwa von Glaubersalz und rauchender Salzsäure, so wird der darin befindliche Wasserdampf verdichtet, und es entsteht eine Leere, welche die neue Verdunstung des Wassers in der andern Kugel veranlaßt. Da nun diese Verdunstung nur auf Kosten der Wärme des Wassers und höchstens noch der Glaswand geschehen kann, so erstarrt das Wasser in kurzer Zeit zu Eis.

Selbst ohne Hülfe jedes Apparates kann man nach einem von Böttger angegebenen Verfahren durch bloße Verdampfung von Aether oder Schwefelkohlenstoff Wasser zum Gefrieren bringen. Bringt man nämlich auf ein Brettchen von Tannenholz einige Tropfen Wasser und setzt dann darauf ein sehr dünnwandiges Schälchen von Kupferblech, welches Schwefelkohlenstoff enthält, so gefriert das Wasser unter dem Schälchen, wenn man den Schwefelkohlenstoff durch Blasen mit einem Blasebalg zur schnellen Verdunstung gebracht hat, und das Schälchen hängt an dem Brette fest.

Besonders interessant werden diese Wirkungen der Verdunstungskälte, wenn man sie mit dem bereits erwähnten Leidenfrost'schen Versuche in Verbindung bringt. Eine Flüssigkeit verdampft nämlich um so rascher und bewirkt darum auch eine um so größere Kälte, je tiefer ihr Siedepunkt liegt. Nun haben wir Stoffe kennen gelernt, die nur durch starke Verdichtung in den flüssigen Zustand gebracht werden können, so die schweflige Säure, deren Siedepunkt 11°, die Kohlensäure, deren Siedepunkt sogar bei einem 18fachen Atmosphärendrucke noch 30° unter dem Gefrierpunkte des Wassers liegt. Die Verdunstung solcher Flüssigkeiten muß natürlich außerordentliche Kälte hervorrufen, und mit flüssigem Stickstoffoxydul gelang es Natterer sogar, die niedrigste bisher bekannte Temperatur von — 105° zu erzeugen. Diese Flüssigkeiten kann man aber bei dem Leidenfrost'schen Versuche oder im sogenannten sphäroidalen Zustande sogar auf glühenden Metallplatten flüssig erhalten und so die interessante Erscheinung einer Eiserzeugung durch Verdunstung inmitten schmelzender Gluth hervorrufen. Träufelt man nämlich eine dieser Flüssigkeiten, etwa schweflige Säure, auf eine heiße Metallfläche, so bildet sie auf derselben einen ruhigspielenden Tropfen, welcher nicht siedet, sondern nur allmälig verdampft. Fügt man einige Tropfen Wasser hinzu, so werden diese augenblicklich in Eis verwandelt. Mit Hülfe fester Kohlensäure hat Faraday in dieser Weise selbst Quecksilber in einem glühenden Tiegel zum Gefrieren gebracht.

Die Kälteerzeugung durch Verdunstung hat in neuerer Zeit auch eine praktische Bedeutung erlangt, da sie zur künstlichen Bereitung von Eis benutzt wird. Namentlich hat sich das Verfahren von Carré, der sich dazu des concentrirten kaustischen Ammoniaks bedient, bewährt. Das Ammoniakgas besitzt nämlich einmal die Eigenschaft, bei gesteigertem Drucke flüssig zu werden, beim Aufhören des Druckes aber wieder sehr schnell zu verdunsten und natürlich dabei bedeutende Wärmemengen zu binden. Es besitzt sodann auch die Eigenschaft, vom Wasser begierig verschluckt zu werden, und zwar in solchem Maße, daß ein einziges Volumen Wasser gegen 600 Volumina des Gases absorbiren kann. Warmes Wasser hat diese Eigenschaft in geringerem Grade, und beim Erwärmen einer concentrirten wässerigen Lösung wird daher der größte Theil des Gases wieder flüchtig. Auf diese Eigenschaften hat nun Carré seinen überaus scharfsinnig construirten Eisapparat gestützt. Derselbe besteht zunächst aus einem eisernen Cylinder, der, zur Hälfte mit concentrirter Ammoniaklösung gefüllt, in einen Herd eingelassen und hier von unten her erhitzt wird. Durch die Hitze wird das Ammoniakgas frei, und da sich beständig neue Gasmengen entwickeln, die nirgends einen Ausweg finden, so entsteht allmälig ein heftiger Druck im Innern des Apparates, der bei einer Temperatur von 130° C. etwa 8 Atmosphären beträgt. Unter diesem Drucke tritt das Ammoniakgas in ein schlangenförmiges Kühlrohr ein, das von kaltem Wasser umgeben ist, und hier wird das Gas bei einer Temperatur von 30° flüssig. Auch die mit fortgerissenen Wasserdämpfe werden in einer Anzahl über einander stehender Becken im obern Theile des Apparates verdichtet. Das flüssige Gas tritt nun in einen zweiten kleineren Cylinder ein, in welchem sich ein eigenthümlich eingerichteter Schwimmer befindet, der den Ausfluß des flüssigen Gases regulirt, indem er, durch dasselbe bald niedergedrückt, bald gehoben, die Ausflußöffnung bald verschließt, bald frei läßt. Durch mehrere Röhren gleichmäßig vertheilt, gelangt das Ammoniak endlich in den eigentlichen Kälteerzeuger oder Refrigerator, in welchem es in den gasförmigen Zustand zurückgeführt wird. Hier befinden sich die, um eine größere Oberfläche zu bieten, mehrfach hin und her gewundenen Verdampfungszellen, die von einer alkoholischen Chlorcalciumlösung umgeben sind, welche, ohne zu gefrieren, die Wärme vortrefflich leitet. Zwischen den Zellen stehen die mit kaltem Brunnenwasser gefüllten Gefäße, in welchen die Eisbildung vor sich gehen soll. Das verdampfende Gas steigt von unten her auf, während ihm von oben her das

aus dem ersten Cylinder kommende verdichtete und möglichst abgekühlte Wasser in einem feinen Regen entgegenströmt. Mit außerordentlicher Schnelligkeit wird das Gas von diesem Wasser verschluckt, und der dadurch entstehende luftleere Raum wird die Veranlassung zu neuer schneller Verdunstung des Ammoniaks. In der durch diese Verdunstungbewirkten Kälte gefriert das Wasser, während das wieder mit dem Wasser verbundene Ammoniak durch eine Saugpumpe in den Cylinder zurückgetrieben wird, um hier sein Spiel von Neuem zu beginnen. Wieder wird das kaustische Ammoniak in seine Bestandtheile zerlegt, wieder werden Wasserdampf und Ammoniakgas verdichtet, wieder fließen beide nach entgegengesetzten Richtungen durch den Apparat, wieder vereinigen sich beide in dem Refrigerator, nachdem durch die Verdampfung des flüssigen Gases bei vermindertem Drucke die Eiserzeugung stattgefunden hat. Im Verlaufe von einer Stunde sind bei einer mäßigen Größe des Apparates etwa 50 Pfund Eis erzeugt, das dem natürlichen in keiner Beziehung nachsteht.

Alle diese Erscheinungen der latenten Wärme bei Veränderung des Aggregatzustandes der Körper suchte man sich sonst durch die Annahme eines Wärmestoffes zu erklären, mit dem die Körper sich verbinden müßten, um flüssig, und ebenso wieder, um gasförmig zu werden. Seit man aber andere Wärmeerscheinungen, namentlich der strahlenden Wärme kennen gelernt hat, ist ein solcher Wärmestoff unmöglich geworden, und man muß auch die latente Wärme auf eine Bewegung zurückzuführen suchen, welche in den Ausdehnungserscheinungen so deutlich angezeigt ist.

Jedenfalls kann die Wärme, die man latent geworden nennt, nicht völlig unwirksam gewesen sein. Sie muß vielmehr dazu verwandt worden sein, um irgend eine Arbeit zu verrichten, und zwar eine Arbeit im Innern des Körpers, in welchem man sie latent wähnt. Die Lockerung der Cohäsion bei der Erwärmung, die Zerstörung des starren Aggregatzustandes beim Schmelzen der festen Körper, die Ausdehnung einer Flüssigkeit, das Ueberführen einer Flüssigkeit in den dampfförmigen Zustand, die Ausdehnung der Dämpfe selbst, alles das sind Producte einer innern Arbeit. Nur eine dieser innern Arbeiten aber wird durch das Thermometer gemessen, weil an ihm selbst diese Arbeit vor sich geht, das ist die Lockerung der Cohäsion, die Ausdehnung. Von derjenigen Arbeit, auf welcher die Aenderung des Aggregatzustandes beruht, erfährt das Thermometer nichts, weil es ja, möge es eine Flüssigkeitssäule oder ein fester Körper sein, woran wir

die Wirkung der Wärme messen, selbst seinen Aggregatzustand unverändert behält.

Das Thermometer und der Körper, dessen Temperatur es messen soll, verhalten sich gerade so zu einander, wie zwei mit Luft gefüllte Blasen, die mit einander durch einen Schlauch verbunden oder in einander gesteckt sind. Drücken wir die eine Blase zusammen, so dehnt sich die andere aus; erkalten wir die eine, so dehnt sich gleichfalls die andere aus, und so wechselweise, einfach in Folge des wie für die mechanische Kraft, so auch für die Wärme geltenden Ausgleichungsbestrebens. Ganz dasselbe findet auch bei dem Thermometer statt. Tauchen wir es in Wasser von 79° Wärme, so muß sich die Quecksilbersäule ausdehnen, bis sie sich in demselben Zustande befindet, wie das Wasser; tauchen wir es in Wasser von 0°, so zieht sich die Quecksilbersäule zusammen. In jedem Falle nimmt das Thermometer die Temperatur des Wassers an. Mischen wir das warme und das kalte Wasser, so kann das Thermometer wieder nur den Gleichgewichtszustand, die Mittelwärme von $39^1/_2{}^0$ anzeigen. Streng genommen wird das freilich nur ganz richtig sein, wenn die Menge des Wassers, in welches wir das Thermometer tauchen, eine unbegrenzte ist, so daß die eigene Temperatur des Thermometers dabei außer Betracht kommt. Taucht man ein Thermometer, das $39^1/_2{}^0$ Wärme zeigt, in eine Wassermenge von nur 30 Grammen und 0° Wärme, so fällt es darin nicht auf 0°, sondern nur etwa auf 12°. Nichtsdestoweniger fällt das Thermometer, in 30 Gramme Eis getaucht, auf 0° herab, gerade wie es in einem Gemische von gleichen Mengen Wasser von 79° und Eis von 0° auf den Nullpunkt sinkt. Das Schmelzen des Eises ist es, welches hier alle Wärme in Anspruch nimmt, und die 79 Wärmeeinheiten im letztern Falle sind völlig verbraucht, ehe das gebildete Wasser wieder anfangen kann, sich auszudehnen, ehe also auch das Quecksilber Gelegenheit hat, sich an dieser Ausdehnung zu betheiligen.

Wie man sich die Bewegung vorzustellen habe, auf welcher diese innere Arbeit der Körper, die Wärme und die Aggregatform, beruht, diese Frage ist durch die mechanische Wärmetheorie noch nicht vollkommen gelöst. Redtenbacher läßt jedes Körperatom von einer Aetherhülle umgeben sein, durch deren Schwingungen er die Wärme erklärt. Clausius, der sich wohl am gründlichsten mit der Ausbildung dieser Theorie beschäftigt hat, sieht in der Bewegung der Körpertheilchen oder Moleküle selbst die Ursache der Wärme. Nach ihm unterscheiden sich

die Aggregatzustände der Körper wesentlich durch eine verschiedenartige Bewegung ihrer kleinsten Theilchen. Im festen Zustande, sagt er, haben die Körper nicht nur das Bestreben, die Gestalt, welche sie einmal haben, beizubehalten, sondern es zeigt sich auch bei vielen Körpern, wenn sie aus dem flüssigen in den festen Zustand übergehen, das Bestreben, bestimmte, jeder Körperclasse eigenthümliche Gestalten anzunehmen, nämlich die Krystallgestalten. Daraus muß man schließen, daß die Moleküle sich nicht beliebig, wie der Zufall sie gerade zusammenbringt, an einander legen, sondern daß den Molekülen Kräfte innewohnen, welche sie zwingen, nur bestimmte Lagen zu einander anzunehmen. Diese Lagen können sie dann, so lange der Körper fest ist, nicht ganz verlassen, sondern jedes Molekül kann nur um seine Gleichgewichtslage innerhalb gewisser Grenzen schwingende Bewegungen machen. Im flüssigen Zustande sind die Bewegungen schon so stark geworden, daß die einzelnen Moleküle nicht mehr bestimmte Lagen einhalten, zu denen sie bei ihren Bewegungen immer wieder zurückkehren, sondern daß sie sich unregelmäßig durch einander bewegen. Dadurch erklärt sich die den Flüssigkeiten eigene große Beweglichkeit. Hierbei ist aber doch die Anziehung der Moleküle unter einander noch nicht ganz durch die Bewegung überwunden. Wenn auch nicht jedes Molekül an einem bestimmten andern Molekule haftet, so halten sich doch die Moleküle in ihrer Gesammtheit durch die gegenseitigen Anziehungen in der Weise zusammen, daß die ganze Masse innerhalb eines bestimmten Raumes bleibt. Im luftförmigen Zustande endlich muß man annehmen, daß die Moleküle sich durch ihre Bewegung ganz aus einander getrieben haben und nun jedes Molekül unabhängig von dem andern fortfliegt, bis es gegen irgend ein Hinderniß stößt, von dem es dann abprallt, um wieder nach einer andern Richtung zu fliegen. Denkt man sich eine solche Luftmasse im freien Weltraume, wo keine freie Kraft auf sie wirkte, so würden die Moleküle sich ganz von einander entfernen und in's Unbegrenzte ausbreiten. Befindet sich die Luftmasse aber in einem Gefäße, so stoßen die Moleküle bald hier, bald dort gegen die Gefäßwände, so daß diese eine gewisse Festigkeit haben müssen, um nicht durch die Stöße zurückgedrängt zu werden. Hierdurch entsteht der Druck, welchen jedes Gas auf seine Umhüllung ausübt.

Mit kurzen Worten kann man daher die Ansicht der mechanischen Wärmetheorie dahin zusammenfassen: Die Körperwärme besteht aus Bewegungen der Körpermoleküle, deren lebendige Kraft die Temperatur erzeugt. Bei den festen Körpern überwiegt die schwingende Bewegung;

in den flüssigen finden sich die schwingende und die fortschreitende Bewegung ohne Ueberwiegen der einen von beiden, während in den luftförmigen Körpern die fortschreitende Bewegung den Hauptbestandtheil aller Bewegungen bildet. Nach dieser Theorie ist also die ganze Körperwelt in ihren kleinsten Theilchen in immerwährender unendlich rascher Bewegung; selbst in dem festesten Stoffe, in dem zähen Stahl, in dem harten Demant besteht Alles aus hin- und herschwirrenden, wider einander stoßenden Theilchen. Diese Bewegungen der Körperwelt theilen sich aber auch dem umgebenden Aether mit, dessen schwingende Atome die strahlende Wärme bilden, so daß der ganze Weltraum überhaupt von wellenförmigen Schwingungen durchzogen wird. Für das Gefühl mag diese neue Anschauung, die gleichsam den Stoff uns in der Hand zerrinnen läßt, etwas Widerstrebendes haben; aber das Gefühl entscheidet nicht über die Wahrheit der Theorie.

Wenngleich diese Theorie noch nicht vollkommen leistet, was von einer wissenschaftlichen Erklärung der Schmelzungs- und Verdampfungswärme gefordert werden muß, so macht sie doch begreiflich, daß so bedeutende Bewegungen, wie sie bei der Veränderung der Aggregatzustände im Innern der Körper angeregt werden, auch einen bedeutenden Kraftaufwand voraussetzen. Namentlich steht die heftige Bewegung, welche den Uebergang zur Dampfform bezeichnet, ganz in Uebereinstimmung mit der großen Wärmemenge, welche im Dampfe latent oder vielmehr in Arbeit umgewandelt wird. Wie heftig die ausdehnende Gewalt der Gase ist, lehren sie uns ja, wenn sie von einem Drucke, unter dem sie gefesselt waren, plötzlich befreit werden, und zwar nicht blos durch zerstörende Wirkungen, sondern auch durch den Raub gewaltiger Wärmemengen, deren sie zu dieser plötzlichen Ausdehnung bedürfen. Einen vortrefflichen Beleg dafür bietet ein Versuch, den Thilorier zuerst anstellte. Wenn man kohlensaures Gas, das sich in einem sehr festen Gefäße unter einem sehr starken Drucke befindet, aus einer kleinen Oeffnung ausströmen läßt, so erfordert die plötzliche Ausdehnung eine solche Verstärkung der Kraft, daß sich ein anderer Theil des Gases ebenso plötzlich zusammenzieht und in einen festen, schneeähnlichen Körper verwandelt. Hier sehen wir also Ausdehnung und Verdichtung gleichzeitig an derselben Substanz vor sich gehen, nur weil die Zeit zu kurz ist, als daß das Ganze eine gleichförmige Temperatur oder vielmehr eine gleichförmige Ausdehnung annehmen könnte.

Eine nothwendige Forderung der mechanischen Theorie ist, daß die Wärme sich stets durch eine Ausdehnung des Stoffes zu erkennen

gebe. Gleichwohl giebt es Fälle, in denen im offenbaren Widerspruche mit diesem Gesetze eine Temperaturerhöhung von einer Zusammenziehung begleitet ist. Zum Theil sind diese Ausnahmen freilich nur scheinbare. Wenn feuchter Thon, wenn thierische oder pflanzliche Fasern sich in der Wärme zusammenziehen, so rührt dies nur daher, daß sie flüchtige Stoffe enthalten, die sich bei Erwärmung in Dampf- oder Gasform zerstreuen, und daß nun die leer gewordenen Zwischenräume von den minder flüchtigen Stoffen vermöge der ihnen eigenen innern Kraft der Molekularanziehung oder der Cohäsionskraft erfüllt werden.

Ganz anders verhält es sich mit der auffallenden Erscheinung, welche gerade einer der verbreitetsten Körper, das Wasser, zeigt. Es ist schon (S. 260) erwähnt, daß das Wasser seine größte Dichtigkeit nicht beim Gefrierpunkte, sondern bei einer Temperatur von 4° C. über demselben erreicht, daß also Wasser, wenn es vom Siedepunkte an allmälig erkaltet, sich zwar fortwährend zusammenzieht bis zur Temperatur von 4°, dann aber sich wieder ausdehnt und auf dem Nullpunkte ungefähr dieselbe Dichtigkeit wieder erreicht, die es bei 8° C. besaß. Wasser von 0° wird also durch die Wärme bis zur Temperatur von 4° nicht ausgedehnt, sondern zusammengezogen. Während daher bei allen andern Flüssigkeiten durch einen Druck, dem man sie aussetzt, der Gefrierpunkt höher gerückt wird, bedarf es einer andern Temperatur, um Wasser, das sich unter einem gewissen Drucke befindet, zum Gefrieren zu bringen. Eine befriedigende Lösung dieses Räthsels hat auch die mechanische Theorie noch nicht zu geben vermocht. Das Wahrscheinlichste dürfte sein, daß im Momente der äußersten Dichtigkeit die Moleküle des Wassers eine polare oder krystallinische Lagerung annehmen und dabei also Zwischenräume bilden, welche die specifische Schwere der ganzen Masse vermindern. Beweisen läßt sich das freilich nicht, da man die innerste Constitution der Materie nicht bis in diese letzten Atome hinein sondiren kann; man müßte sich denn auf das Ergebniß einiger Versuche berufen, das freilich noch der Bestätigung bedarf, daß nämlich das Wasser zwischen dem Punkte seiner größten Dichtigkeit und dem Punkte seiner Erstarrung das Licht circulär polarisirt, was darauf hindeuten würde, daß das Wasser eine ähnliche Structur angenommen hätte, wie die festen Krystalle.

Die mechanische Wirkung der Wärme.

So klein auch im Einzelnen die Bewegungen sind, die im Innern der Körper und im umgebenden Aether vor sich gehen, und die wir als

Wärme bezeichnen, so können sie doch durch ihre außerordentliche Menge große Wirkungen hervorbringen. In der That, überall, wo wir in der Natur Bewegung und Leben wahrnehmen, finden wir auch die Wärme thätig. Niemals ist die uns umgebende Luft der Atmosphäre völlig in Ruhe, stets ist sie von Winden bewegt, welche so stark werden können, daß Bäume und selbst Häuser ihnen nicht zu widerstehen vermögen. Diese Winde verdanken ihre Entstehung der verschiedenen Vertheilung der Wärme auf der Erde. Die Wärmedifferenzen, die zwischen den von der Sonne stärker erwärmten Gegenden in der Nähe des Aequators und den kälteren in der Nähe der Pole bestehen, sind es, welche jenes große System von Polar- und Aequatorialströmen hervorrufen, welche überall in den Windrichtungen vorwalten, und deren Wechsel einen so entscheidenden Einfluß auf die Aenderung des Wetters hat. Eine andere allgemeine Bewegung in der Natur, welche die Wärme hervorruft, ist der Kreislauf des Wassers, dessen eine Hälfte wir in den zum Meere strömenden Flüssen sehen, während die andere Hälfte die vom Meere aufsteigenden Dämpfe und die Wolken bilden. Durch die Winde lassen wir unsere Schiffe treiben und unsere Mühlen drehen, und die Kraft fließenden Wassers bewegt die Triebwerke der Fabriken; aber nicht der Wind, nicht das Wasser, die Wärme ist die treibende Kraft. Auch in dem wirksamsten Mittel, das wir gegenwärtig besitzen, um träge Massen in Bewegung zu setzen oder widerstehende Naturkräfte zu überwinden, in der Dampfmaschine, ist der Dampf nur das Mittel, das eigentlich Wirksame aber die Wärme. Durch die Wärme des Feuers wird das Wasser gezwungen, sich in Dampf zu verwandeln und dadurch den Stempel im Dampfcylinder und mit ihm die ganze Maschine zu treiben. Zwischen einem Dampfschiffe und einem Segelschiffe, zwischen einer durch Dampfkraft und einer durch Wasserkraft getriebenen Fabrik besteht also nur der Unterschied, daß wir in dem einen Falle die Wärme in einer kleinen, künstlich verfertigten Maschine arbeiten lassen, im andern Falle dagegen die große Maschine der Natur benutzen, zwischen deren gewaltigen Rädern wir unsere kleinen Räderwerke einschalten, um sie mittreiben zu lassen.

Für die Wirkung der Wärme als mechanischer Kraft ist es durchaus gleichgültig, welche Materie es ist, ob Eisen, ob Wasser, ob Dampf oder Luft, welche von der Wärme erregt wird, oder auf welche die Wärme wirkt. Sobald es richtig ist, daß jedesmal, wenn ein Körper zusammengepreßt wird, derselbe Körper zugleich warm wird, d. h. die umgebenden Körper ausdehnt, und daß jedesmal, wenn ein Körper sich

ausdehnt, er zugleich kalt wird, d. h. die benachbarten Körper zusammenzieht, so muß auch unzweifelhaft die durch die Wärme erzeugte mechanische Kraft eine bestimmte und für eine gegebene Wärmemenge die gleiche sein, welches auch die Substanz sein möge, auf welche diese Wärme wirkt. Um eine mechanische Arbeit durch die Wärme verrichten zu lassen, könnte man sich also jedes beliebigen Körpers als Vermittlers bedienen, ohne einen größeren Verlust befürchten zu müssen. Daß die Ausdehnung von Metallen in der That gewaltige Wirkungen hervorrufen könne, lehrt die tägliche Erfahrung. Sie ist sogar mit Erfolg praktisch angewandt worden, wo keine andere Kraft mehr ausreichen wollte. Denken wir uns zwei gegenüberstehende Mauern durch starke Metallstäbe verbunden, und diese an der Innenseite der Mauern verankert, und lassen wir nun diese Stangen durch Feuer oder Kohlengluth erhitzt werden, so müssen sie sich verlängern und, da sie nicht weichen können, einen so gewaltigen Druck auf die Mauern ausüben, daß diese aus ihrer senkrechten Stellung in eine schiefe gebracht werden. Denken wir uns jetzt die Metallstäbe an der Außenseite der Mauern verankert, so müssen sie beim Erkalten, indem sie sich wieder verkürzen, die Mauern in die ursprüngliche senkrechte Lage zurückführen. Auf diese Weise wurden in der That die schiefstehenden Mauern des Conservatoriums der Künste und Gewerbe zu Paris wieder gerichtet. Viele Tausende von Pferden hätten eine solche Kraft nicht auszuüben vermocht.

Trotz der ungeheueren Kraft, welche wir die Metalle unter der Einwirkung der Wärme entwickeln sehen, finden wir sie doch selten als eigentliche Arbeitskraft im Gebrauche. Bei der praktischen Verwerthung der Arbeit kommt es eben nicht allein auf ihre Größe, sondern auch auf die Zeit an, auf die Schnelligkeit, mit welcher die Kraft in Wirkung tritt und ihre Wirkung verbreitet. Gewiß könnte man auch die Ausdehnung einer Eisenstange benutzen, um einen Stempel aufwärts zu treiben, den die bei der Erkaltung sich zusammenziehende Eisenstange wieder abwärts treiben würde; aber welchen Zeitaufwand würde das erfordern. Ganz anders steht es mit den Gasen und Dämpfen. Hier, wo die ausdehnende Kraft der Wärme keine Cohäsionskraft mehr zu überwinden findet, vermag sie ihre ganze Wirkung frei zu entfalten, während zugleich einfache Mittel zu Gebote stehen, die ausgedehnte Dampfsäule wieder schnell ihrer Wärme zu berauben und so zu neuer Ausdehnung und neuer Kraftwirkung fähig zu machen. Gase und insbesondere Dämpfe sind es daher, deren Ausdehnung und Zusammen-

ziehung unter dem Einflusse der Wärme eine der bedeutendsten Rollen unter den Triebkräften der Natur und der menschlichen Industrie spielen. Um aber ihre Eigenschaft als bewegende Kraft verstehen zu können, müssen wir zunächst die Bildungsweise der Dämpfe und das Verhalten der luftartigen Körper überhaupt zur Wärme näher in's Auge fassen.

Die Verdampfung oder der Uebergang flüssiger Körper in den luftförmigen Zustand findet nicht blos beim Sieden, sondern in jeder Temperatur statt. Das lehren uns schon die bekanntesten Erscheinungen, wie das Trocknen der Wäsche und feuchter Wege. Selbst feste Körper verdunsten oder verdampfen, ohne erst flüssig zu werden, wie der Kampher und die meisten Riechstoffe, und selbst Eis und Schnee sehen wir, ohne daß die Temperatur auch nur über den Gefrierpunkt steigt, durch Verdunstung schwinden. Aber die Größe der Verdunstung und ihre Schnelligkeit hängt allerdings von der Temperatur ab. Sie erfolgt am schnellsten in der Temperatur des Siedepunkts. Nur beim Sieden geht die Dampfbildung auch im Innern der Flüssigkeit vor sich, während sie in jeder niedereren Temperatur nur an der Oberfläche erfolgt. Die Ursache davon liegt in der Zunahme der ausdehnenden Kraft, welche die Gase und Dämpfe kennzeichnet, und die wir ihre Spannkraft oder Elasticität nennen, mit dem Wachsen der Temperatur; denn von dieser Kraft hängt der Widerstand ab, welchen der gebildete Dampf dem äußeren Drucke entgegenzusetzen vermag.

Diese Spannkraft des Dampfes oder, nach der mechanischen Theorie, die Kraft, mit welcher seine kleinsten Theilchen gegen die Wände der ihn umschließenden Gefäße stoßen, lernt man am besten im leeren Raume kennen, wo er sich ungehindert durch den Widerstand der Luft verbreiten kann. Einen solchen leeren Raum hat man in der sogenannten Torricelli'schen Leere des Barometers. Bringt man in diesen leeren Raum einige Tropfen Aether oder Wasser — was sehr leicht geschieht, da diese in dem specifisch schwereren Queckſilber emporsteigen — so sieht man augenblicklich das Queckſilber in der Röhre etwas sinken. Daß dies nicht etwa von einem Drucke der darüber schwimmenden Flüssigkeit herrührt, geht schon daraus hervor, daß das Sinken der Queckſilbersäule bei sehr leichten Flüssigkeiten viel bedeutender ist, als bei schwereren, bei Aether z. B. in einer Lufttemperatur von 10° fast 127 Par. Linien betragen kann, während es bei Alkohol nur etwa 10, bei Wasser sogar höchstens 4 Lin. erreicht. Das Sinken des Queckſilbers kann also nur eine Folge des Druckes sein, welchen

die sich augenblicklich im leeren Raume über dem Quecksilber bildenden Dämpfe ausüben. Dieser Druck aber ist es, den wir als Spannkraft oder Elasticität bezeichnen.

War die Menge der in den leeren Raum gebrachten Flüssigkeit nur sehr gering, so verdampft dieselbe augenblicklich vollständig. Bringt man dann von Neuem einige Tropfen hinzu, so verdampfen auch diese, und zugleich sieht man die Quecksilbersäule etwas weiter herabgedrückt werden. Dies hat allerdings seine Grenze. Endlich verdampft die Flüssigkeit nicht mehr, und die Quecksilbersäule behauptet ihre Höhe unverändert. In einem bestimmten Raume kann sich bei einer bestimmten Temperatur also nur eine gewisse Menge von Dämpfen bilden, und man nennt einen solchen Raum dann mit Dämpfen gesättigt. Ebenso hat aber auch der Dampf in diesem Falle für die bestimmte Temperatur das Maximum seiner Spannkraft erreicht, und man spricht dann wohl auch von gesättigten Dämpfen.

Steigert man die Temperatur, so vermag derselbe Raum weit bedeutendere Mengen von Dämpfen aufzunehmen, und in demselben Maße wächst dann auch die Spannkraft der Dämpfe. Man kann sich davon überzeugen, wenn man die Barometerröhre in ein mit Wasser gefülltes Gefäß taucht und dieses Wasser erwärmt. Während die Quecksilbersäule von dem gesättigten Wasserdampfe bei 10° Temperatur nur um 4 Par. Linien herabgedrückt wird, sieht man sie bei 20° fast um 8 Lin., bei 30° um 14 L., bei 40° um 24 L., bei 60° um 66 L., bei 80° um 157 L., bei 100° um 336 Linien sinken. Die Spannkraft des Dampfes wächst also außerordentlich rasch mit der höheren Temperatur. Beim Siedepunkte ist sie genau dem Luftdrucke gleich, so daß die Dämpfe in dieser Temperatur also einer ebenso großen Quecksilbersäule (von 28 Zoll) das Gleichgewicht zu halten vermögen, wie die gesammte Atmosphäre.

Umgiebt man die Barometerröhre statt mit Wasser mit einer Kältemischung, so kann man sich davon überzeugen, daß auch noch unterhalb des Gefrierpunktes eine Dampfbildung stattfindet. Die Spannkraft des Wasserdampfes beträgt sogar beim Gefrierpunkte noch 2 Par. Linien, bei — 5° C. noch 1,38 Lin., bei — 10° 0,93 L., bei — 15° 0,62 L., bei — 20° 0,41 L. und sogar bei — 32° noch 0,14 Linien.

Wenn die Spannkraft der Dämpfe schon unterhalb der Siedetemperatur außerordentlich schnell anwächst, von + 80 bis + 100° z. B. um fast 180 Linien, während sie von 0° bis + 20° nur um 6 Linien zunimmt, so geschieht dieses Wachsen noch bei weitem rascher in höheren Temperaturen. Bei 100° C. ist nur eine Temperaturzu-

nahme von $12^1/_2{}^0$ erforderlich, um die Spannkraft der Wasserdämpfe um 180 Linien zu erhöhen, und bei 140^0 genügt sogar zu demselben Zwecke nur eine Temperaturzunahme von 5^0. Um die Spannkraft der Dämpfe in höheren Temperaturen annähernd zu bestimmen, kann man sich gleichfalls eines dem gewöhnlichen Gefäßbarometer ähnlichen Apparates (Fig. 152) bedienen. Nur muß zunächst sowohl das Gefäß als das lange Rohr oben offen gelassen sein. Gießt man in diesen Apparat Quecksilber, so stellt es sich natürlich, da es von beiden Seiten dem Drucke der Luft ausgesetzt ist, im Gefäß und im Rohre gleich hoch. Füllt man dann Wasser über das Quecksilber im Gefäße und schmilzt, nachdem man durch Kochen alle Luft aus dem Gefäße ausgetrieben hat, gleichzeitig die Spitzen des Gefäßes und des Rohrs zu, so befinden sich über dem Quecksilber im Gefäße nur Wasserdämpfe, über dem Quecksilber im Rohre nur Luft von der Dichtigkeit der Atmosphäre. Erwärmt man dann das Gefäß über 100^0, so treiben die gebildeten Wasserdämpfe das Quecksilber im Rohre in die Höhe und verdichten dadurch die Luft in demselben. Die Spannkraft der Dämpfe entspricht dann also dem Drucke, welchen die verdichtete Luft im Rohre auf die Quecksilbersäule ausübt, vermehrt durch den Druck der gehobenen Quecksilbersäule selbst. Gewöhnlich bedient man sich als Maß für diese Spannkraft der Dämpfe in höheren Temperaturen des Atmosphärendrucks, d. h. des Druckes, welchen eine Quecksilbersäule von 28 Par. Zoll Höhe ausübt, und welcher bekanntlich dem Drucke der Atmosphäre gleich ist. Man findet dann, daß, während die Spannkraft des Wasserdampfes in der Temperatur des Siedepunkts genau einem Atmosphärendrucke entspricht, die Spannkraft desselben bei $121,_4{}^0$ den Druck von 2 Atmosphären, bei $135,_1{}^0$ den Druck von 3 Atmosphären erreicht, daß sie bei $145,_4{}^0$ 4, bei 172^0 8, bei 190^0 12, bei $214,_7{}^0$ 20, bei 266^0 50, bei 311^0 100 Atmosphären gleich ist.

Fig. 152.

Mit der Erhöhung der Temperatur nimmt aber nicht allein die Spannkraft des Dampfes zu, sondern auch die Menge der Dämpfe, welche von demselben Raume aufgenommen werden können, bevor er gesättigt ist. Dadurch wird also auch die Dichtigkeit des Dampfes

vermehrt. Bei einer Temperatur von 100° ist die Dichtigkeit des Wasserdampfes = 0,623 oder nahezu $^5/_8$ von der Dichtigkeit der atmosphärischen Luft bei gleicher Temperatur und Spannkraft. Bei 120° ist seine Dichtigkeit fast doppelt, bei 160° über 5mal so groß. Bei 100° nimmt der Wasserdampf in Folge dessen einen Raum ein, der 1683mal so groß ist, als derjenige, den er im flüssigen Zustande ausfüllen würde; bei 120° nimmt er nur einen 952mal so großen, bei 160° einen 318mal so großen Raum ein. Bei einer Temperatur, welche dem Schmelzpunkte des Zinks nahe liegt, nimmt der gesättigte Wasserdampf einen nur etwa 4mal so großen Raum ein, als im flüssigen Zustande. Er greift bei dieser Dichtigkeit das Glas an und nimmt ihm durch theilweise Auflösung seiner Bestandtheile seine Durchsichtigkeit.

Da die Dichtigkeit einer Flüssigkeit mit der steigenden Temperatur sich bekanntlich vermindert, die Dichtigkeit ihrer Dämpfe aber umgekehrt sehr rasch zunimmt, so muß es für jede Flüssigkeit eine Temperatur geben, bei welcher sie sich in einen Dampf von derselben Dichtigkeit und also auch demselben Volumen verwandelt. In der That ist diese Erwartung durch die merkwürdigen Versuche von Cagniard de la Tour bestätigt worden. Beim Wasser tritt dieser Zustand ungefähr in der Rothglühhitze und bei einer Ausdehnung in einen 4mal so großen Raum ein. Eine sehr starke Glasröhre, die bis zu $^1/_4$ ihres Inhalts mit Wasser gefüllt und, nachdem alle Luft ausgetrieben worden, zugeschmolzen war, wurde einer immer steigenden Temperatur ausgesetzt. Zuletzt schien alles Wasser verschwunden, und die Röhre schien leer. Sobald aber die Temperatur etwas sank, erschien die Flüssigkeit wieder. Bei Aether tritt derselbe Zustand bei einer Temperatur von 200° und einer Ausdehnung in den doppelten Raum, bei Alkohol bei einer Temperatur von 259° und einer Ausdehnung in den dreifachen Raum ein.

Wenn Dampf in einem abgeschlossenen Raume, in welchem sich keine Flüssigkeit mehr befindet, welche von Neuem Dampf liefern könnte, noch weiter erhitzt wird, so befindet er sich nicht mehr im Zustande der Sättigung und besitzt also auch nicht mehr das seiner Temperatur zukommende Maximum der Spannkraft. Man bezeichnet ihn dann als überhitzten Dampf. Dieser Zustand des überhitzten Dampfes kann natürlich bei jeder Temperatur und selbst ohne Erhöhung derselben eintreten, wenn ein mit gesättigtem Dampfe gefüllter Raum von der Flüssigkeit abgesperrt und dann vergrößert wird. In diesem Falle

füllen zwar die Dämpfe auch den vergrößerten Raum vollständig aus, sind aber nicht mehr gesättigt.

Im Allgemeinen zeigen die Dämpfe alle Eigenschaften luftförmiger Körper überhaupt. Wenn man sie gleichwohl von den Gasen unterscheidet, so bezieht sich dies hauptsächlich nur auf ihr Verhalten gegen einen auf sie ausgeübten Druck. Wenn nämlich das Ausdehnungsbestreben der Dämpfe oder ihre Expansionskraft auf der einen Seite bis in's Unendliche geht, so daß die kleinste Menge Wasser in Dampfgestalt fähig ist, den größten Raum zu erfüllen, so läßt sich doch ihre Spannkraft nicht durch vermehrten Druck beliebig vergrößern. Eine gegebene Luft- oder Gasmenge mag man noch so sehr zusammenpressen, immer wird nach dem bekannten Mariotte'schen Gesetze (S. 133) ihre Spannkraft in demselben Verhältnisse zunehmen, in welchem ihr Volumen verkleinert wird. Anders ist es mit den Dämpfen. Hier gelangt man sehr bald zu einer Grenze, über welche hinaus ihre Spannkraft nicht mehr gesteigert werden kann, wo der vermehrte Druck nur eine theilweise Verdichtung der Dämpfe zu tropfbarer Flüssigkeit zur Folge hat. Ganz dasselbe geschieht bei einer Verminderung der Temperatur, die einer Vermehrung des Druckes in ihren Wirkungen durchaus gleichkommt. Man hatte indeß schon längst die Vermuthung gehegt, daß dieser Unterschied nur ein scheinbarer sein möge, und daß auch für die sogenannten permanenten Gase eine Grenze der Spannkraft bestehe. In der That ist es, wie wir gesehen haben, bei einer großen Zahl von Gasen, so bei dem schwefeligsauren, dem kohlensauren, dem Schwefelwasserstoffgas, dem Ammoniak, dem Kohlenwasserstoffgas, dem Stickstoffoxydul ꝛc., durch Anwendung kräftigen Druckes oder starker Erniedrigung der Temperatur gelungen, sie in flüssige und sogar in feste Körper zu verwandeln. Allerdings ist der Druck und die Erkältung, die erfordert werden, oft außerordentlich groß, so bei der Kohlensäure ein Druck von 38 Atmosphären, beim Stickstoffoxydul ein Druck von 19 Atmosphären bei einer Temperatur von fast 18^0 unter dem Gefrierpunkte, beim Kohlenwasserstoff ein Druck von 27 Atmosphären bei derselben Kälte. Aber immerhin ist der Erfolg kein wesentlich anderer, als bei der Verdichtung der Dämpfe. Der Unterschied zwischen Dämpfen und Gasen läßt sich also nur noch als ein relativer auffassen. Gase unterscheiden sich von Dämpfen dadurch, daß sie weiter von ihrem Sättigungspunkte entfernt sind. Daraus begreift sich auch, daß Dämpfe erst in weiterem Abstande vom Sättigungspunkte sich dem vollkommenen Gaszustande nähern und ge-

nau dem Mariotte'schen Gesetze folgen, daß insbesondere überhitzter Dampf sich ganz wie Gas verhält, bis er das seiner Temperatur entsprechende Maximum der Spannkraft erreicht hat.

Da sich Dämpfe in ihrem luftförmigen Zustande nur so lange erhalten können, als nicht der Druck, unter welchem sie stehen, ihre Spannkraft überwiegt, so muß auch die Dampfbildung überhaupt nicht allein von der Temperatur, sondern auch von dem Drucke abhängig sein. Nur an der Oberfläche einer Flüssigkeit können sich bei jeder Temperatur Dämpfe bilden, weil sich diese sofort mit der atmosphärischen Luft vermischen können, und dann diese mit ihnen gemeinschaftlich den auf ihnen lastenden Druck der Atmosphäre trägt. Im Innern einer Flüssigkeit aber können sich Dampfblasen erst dann bilden, wenn der Dampf, der die Blasen ausfüllt, eine Spannkraft erlangt hat, welche dem Drucke der Umgebung das Gleichgewicht hält. Dies geschieht in der Temperatur des Siedepunkts. Bei jeder niedrigeren Temperatur werden die Dämpfe im Entstehen sogleich wieder durch den darauf lastenden Druck der Atmosphäre zu tropfbarer Flüssigkeit verdichtet.

Wenn der Siedepunkt also diejenige Temperatur bezeichnet, bei welcher die Spannkraft des Dampfes dem Drucke der Atmosphäre gleich ist, so ist dieser Siedepunkt auch nicht mehr ein fester Punkt, sondern er steigt und fällt mit dem Luftdrucke. Nur in der Meeresebene und unter dem mittleren Luftdrucke von 760 Millimeter oder 28 Par. Zoll kocht das Wasser wirklich bei 100° C. Unter jedem andern Luftdrucke kocht es bei einer andern Temperatur. In Paris, wo der Barometerstand in seinen äußersten Grenzen zwischen 781 Mill. und 719 Mill. schwankt, wechselt auch der Siedepunkt des Wassers zwischen $100{,}_8^0$ C. und $98{,}_5^0$ C. Auf dem Montblanc in der Höhe von 4772 Metern, wo der Druck der Atmosphäre nur noch 417 Mill. oder 18 Par. Zoll 4 Linien beträgt, kocht das Wasser schon bei ungefähr 84° C. Man kann sich darum auch des Thermometers so gut wie des Barometers zur Höhenmessung bedienen. Man braucht nur an dem Orte, dessen Höhe man bestimmen will, den Siedepunkt des Wassers zu beobachten. Jedes Sinken dieses Siedepunkts um $1/_{10}^0$ C. entspricht dann ungefähr einem Sinken des Barometers um 1 Par. Linie. Solche Kochthermometer zum Höhenmessen oder Hypsothermometer müssen darum mindestens noch Zehntelgrade erkennen lassen. Sie würden deshalb eine sehr unbequeme Länge haben müssen, wenn sie die ganze Theilung von 0—100° enthalten

sollten. Um dies zu vermeiden, richtet man sie so ein, daß das Quecksilber für niedrigere Temperaturen ganz in dem Gefäße des Thermometers bleibt und nur erst in der Nähe des Siedepunkts, etwa bei 85° oder bei 90°, in die mit einer Scala versehene Röhre tritt.

Da der Siedepunkt nicht an allen Orten der Erde gleich ist, so ist auch das kochende Wasser nicht überall und zu allen Zeiten gleich warm. Aus diesem Grunde ist es auch nicht überall gleich tauglich zu häuslichen Zwecken, etwa zur Bereitung von Speisen. In Quito z. B., wo das Wasser schon bei 90° C. siedet, und in dem St. Bernhardhospiz, wo es bei 92° siedet, kann man Rindfleisch in offenen Gefäßen nicht mehr weich kochen.

Bei wie niedrigen Temperaturen Wasser bereits in Folge verminderten Drucks zum Sieden gebracht werden kann, und wie wenig darum Sieden und hohe Temperatur gleichbedeutend ist, lehrt ein leicht anzustellender Versuch. In einem Glaskölbchen wird Wasser zum Sieden erhitzt, dann das Kölbchen vom Feuer genommen und durch einen guten Kork schnell luftdicht verschlossen. Das Sieden hört natürlich auf. Kehrt man aber das Kölbchen um und übergießt seinen oberen, nur mit Dämpfen gefüllten Theil mit kaltem Wasser, so geräth das darin befindliche warme Wasser augenblicklich wieder in lebhaftes Sieden. Auf dem Wasser in dem Kölbchen lastete eben kein anderer Druck, als der der eingeschlossenen Dämpfe. Durch die Abkühlung aber wurden diese Dämpfe verdichtet und damit der auf der Flüssigkeit lastende Druck vermindert. Eine ganz ähnliche Erscheinung bietet der sogenannte Pulshammer, ein Apparat, der aus zwei durch eine Röhre verbundenen Glaskugeln besteht, die zum Theil mit rothgefärbtem Weingeiste gefüllt sind, der vor dem Zuschmelzen des Apparats bis zum Sieden erhitzt wurde. Auf dem im Pulshammer enthaltenen Weingeiste ruht also kein andrer Druck, als der seiner Dämpfe, und dieser ist bei gewöhnlicher Temperatur ein so unbedeutender, daß schon die Wärme der Hand, in welcher man die den Weingeist enthaltende Kugel hält, hinreicht, die Flüssigkeit zum heftigsten Sieden zu bringen und in die andere Kugel hinüberzutreiben.

Wie die Verminderung des Druckes den Siedepunkt herabdrückt, so vermag ein vermehrter Druck den Siedepunkt bedeutend hinaufzurücken. In einem verschlossenen Gefäße, in welchem die Dämpfe nicht entweichen können, und sich daher ihre Spannkraft und Dichtig-

keit mit der Temperatur beständig steigert, kann daher eine Flüssigkeit weit über ihren Siedepunkt hinaus erhitzt werden. Papin, der in der zweiten Hälfte des 17. Jahrhunderts in Marburg lebte, scheint der Erste gewesen zu sein, der diese Erhöhung des Siedepunkts durch den Druck des eingeschlossenen Dampfes erkannte und zum Staunen seiner Zeitgenossen von der auflösenden Kraft des über 100° erhitzten Wassers Gebrauch machte, um Knochen in einen Brei zu verwandeln. Der nach ihm benannte Papinianische Topf oder Digestor ist ein starkwandiges kupfernes Gefäß, auf welchem ein luftdicht schließender Deckel festgeschraubt werden kann. Damit die Spannkraft der Dämpfe in diesem Apparate nicht bis zu einer die Gefahr des Zerspringens drohenden Höhe anwachsen kann, ist er mit einem Sicherheitsventile versehen. In dem Deckel des Gefäßes befindet sich nämlich eine Oeffnung, auf welcher eine Platte aufliegt, die durch einen mit einem Gewichte belasteten Hebel niedergehalten wird. Sobald der Dampf eine Spannkraft erreicht hat, welche den auf dem Ventile lastenden Druck überwindet, so hebt er das Ventil und strömt aus. Das Wasser in diesem Gefäße siedet nicht, obgleich seine Temperatur weit über 100° gesteigert ist; so oft aber der zischende Dampfstrahl durch das Ventil herausfährt, geräth das Wasser plötzlich in's Sieden, und zugleich sinkt seine Temperatur auf 100°.

Die Dampfmaschine.

Die Spannkraft des Dampfes ist eine der gewaltigsten Kräfte in der Natur, deren Umwandlung in Arbeit den ganzen Zustand der menschlichen Gesellschaft umgestaltet hat. Die Maschine, welche diese Umwandlung vermittelt, hat die Menschheit reicher gemacht, als die Entdeckung der reichsten Goldfelder es je vermocht hätte. Mag diese Dampfmaschine Mineralschätze aus dem Schooße der Erde fördern oder die Gebläse von Schmelzöfen treiben, mag sie Spindeln und Webstühle oder Druckerpressen in Bewegung setzen, mag sie Schiffe über das Meer oder Wagenzüge auf eisernen Schienenwegen mit der Schnelligkeit des Vogelfluges dahin führen; immer erscheint sie wie ein Riese, der in sich die Kraft Tausender von Menschen vereinigt, und immer will es uns dünken, als ob wir durch sie in einem Menschenalter zehn Menschenalter durchlebten. Diese großartige Rolle, welche die Dampfmaschine in der Gegenwart spielt, macht es jedem Gebildeten zum unabweisbaren Bedürfniß, einen Einblick in ihren Bau und ihr Wesen

zu erlangen. Dieser Einblick ist aber keineswegs so schwierig zu erlangen, als es bei dem ersten Blicke in das Innere einer Locomotive oder einer Dampfmaschine, wie sie in Zuckerfabriken, Mühlen, Spinnereien aufgestellt sind, erscheint. Die vielen Röhren und Stangen, Riemen und Räder haben nichts mit dem Dampfe und seiner Benutzung als Triebkraft zu thun, sie sind nur Mittel zur Uebertragung der Bewegung und dienen dazu, die Herrschaft über die gewaltige Kraft in der Hand des Menschen zu sichern.

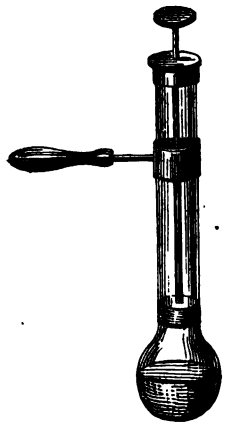
Die Einfachheit des Princips, auf welchem die Dampfmaschine beruht, will es noch immer Vielen gar nicht denkbar erscheinen lassen, daß es erst so spät erkannt worden sein sollte, und man hat es auch nicht an Versuchen fehlen lassen, die Anfänge der großartigsten Erfindung unserer Zeit in frühere Zeiten, selbst bis in das Alterthum zu verlegen. Aber alle diese Versuche sind vergeblich. Die Alten hatten noch gar keine Ahnung von dem wahren Wesen des Dampfes; er galt ihnen nur als Luft, in die sich das verdunstende Wasser verwandeln sollte. Wenn darum Hero von Alexandrien 210 v. Chr. eine Vorrichtung beschreibt, bei welcher eine kleine hohle Metallkugel durch das Ausströmen von Wasserdampf aus rechtwinklig umgebogenen Röhren in eine drehende Bewegung versetzt wird, so hat dies nichts mit einer heutigen Dampfmaschine zu thun, und erhitzte Luft würde darin ganz dasselbe geleistet haben, wie der Dampf. Hero's Maschine beruht nur auf der Stoßkraft des strömenden Dampfes und gleicht dem Segner'schen Wasserrade. Ganz dasselbe ist der Fall mit dem Versuche des italienischen Mathematikers Brancas, welcher ausströmenden Dampf gegen die Schaufeln eines Rades stoßen ließ. Völlig werthlos und zum Theil sogar unhistorisch sind die phantasiereichen Versuche, die in Frankreich und England gemacht wurden, hier den Architekten Salomon de Caus, dort den Marquis von Worcester zu Erfindern der Dampfmaschine zu stempeln.

Erst mußte man mit den Eigenschaften des Dampfes in ihrem ganzen Umfange bekannt geworden sein, mit seiner Spannkraft, seiner Fähigkeit, wieder zu Wasser verdichtet zu werden, seiner latenten Wärme, vor Allem aber auch mit dem wichtigen Luftdrucke, ehe man darauf fallen konnte, gespannten Dampf als bewegende Kraft zu benutzen. Der Einzige, welcher als Vorläufer der Erfinder der Dampfmaschine mit einigem Rechte bezeichnet werden kann, war daher Denis Papin, Professor der Mathematik zu Marburg. Wie klar derselbe bereits das Princip der künftigen Erfindung erfaßte, geht aus den

Worten hervor, mit welchen er im J. 1690 seine Gedanken und Versuche über diesen Gegenstand veröffentlichte. „Da wegen einer dem Wasser zukommenden Eigenschaft," schreibt er, „eine kleine Menge dieser Flüssigkeit, wenn sie durch die Wirkung der Wärme in Dampf verwandelt wird, eine Spannkraft erhält, welche der der Luft gleichkommt, und hierauf durch die Abkühlung wieder in den flüssigen Zustand zurückkehrt, ohne das Geringste von ihrer Spannkraft zu behalten, so bin ich darauf geführt worden, zu glauben, daß man Maschinen construiren könnte, bei welchen das Wasser durch Anwendung einer mäßigen Wärme und ohne große Kosten die vollkommene Luftleere hervorbringen würde, welche man (in der wenige Jahre vorher von dem berühmtem Huyghens erfundenen, aber völlig unbrauchbaren „Pulvermaschine") mit Hülfe des Schießpulvers nicht erhalten kann."

Der Apparat, dessen sich Papin bediente, veranschaulicht vortrefflich das Princip der Dampfmaschine. Man kann sich denselben im Kleinen sehr leicht nachbilden, wenn man statt des eisernen Cylinders, dessen sich Papin bediente, eine ungefähr einen Zoll weite Glasröhre anwendet, an welche unten eine Kugel angeblasen ist, und in welcher sich ein Kolben bewegt, der durch Umwickeln mit Werg und Bestreichen mit Fett zugleich anschließend und leicht beweglich gemacht ist (Fig. 153). Wenn man etwas Wasser in die Kugel bringt und sie dann erwärmt, so ist es leicht begreiflich, daß durch die entwickelten Dämpfe der bis an das untere Ende der Röhre herabgedrückte Kolben in die Höhe getrieben wird. Damit ist allerdings eine Bewegung erreicht, aber nur eine einmalige, keine anhaltende, sich wiederholende, wie sie das Wesen einer Maschine verlangt. Der Kolben muß wieder herabgehen, damit er wieder aufsteigen kann; der Dampf in der Röhre muß also wieder seiner treibenden Kraft beraubt werden, um sie wieder empfangen zu können und so das wechselnde Spiel eines auf- und niedergehenden Kolbens zu bewirken. Das Mittel dazu fand Papin in der Verdichtung der Dämpfe durch Abkühlung. Taucht man die Kugel in kaltes Wasser,

Fig. 153.



so werden die Dämpfe verdichtet, es entsteht ein verdünnter Raum im Innern der Kugel, und der Druck der atmosphärischen Luft, welcher auf der obern Fläche des Kolbens lastet, drückt ihn nieder. Die Kugel kann nun abermals erwärmt werden, der Dampf abermals den Kolben emportreiben.

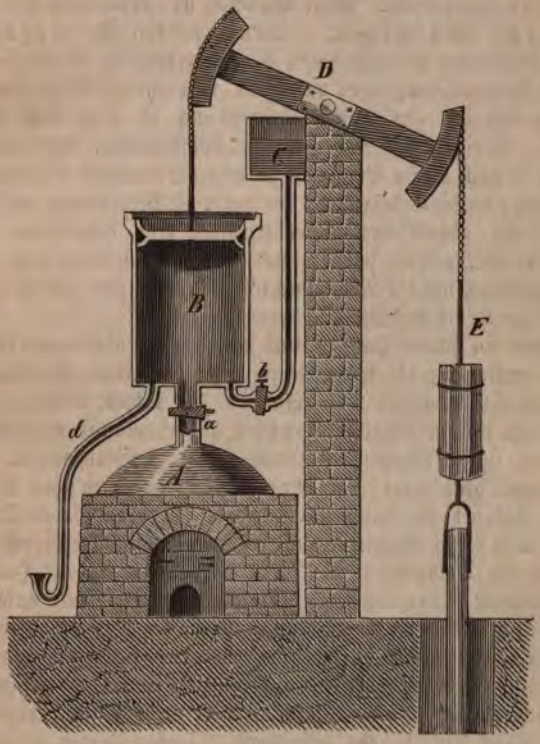
Der Papin'sche Apparat ist niemals zu einer praktischen Verwendung gelangt. Man nahm Anstoß an der Langsamkeit seiner Bewegung. Denn die wechselnde Erhitzung und Abkühlung desselben Raumes nahm so viel Zeit in Anspruch, daß jeder Auf- und Niedergang des Kolbens eine volle Minute erforderte. Dieser Uebelstand war es, welcher fast um dieselbe Zeit den Engländer Thomas Savery, einen ehemaligen Bergmann, der sich zum Marinecapitän und Ingenieur emporgeschwungen hatte, veranlaßte, einen andern Weg zur Nutzbarmachung des Dampfes einzuschlagen. Statt eines Kolbens suchte er einfach Wasser durch den Dampf zu heben. Die von ihm erfundene Maschine bestand daher einmal aus einem besonderen Dampfkessel, in welchem der Dampf hergestellt wurde, dann aus einem Behälter, in welchen der Dampf einströmte, und der zum Theil mit Wasser gefüllt war. Mit diesem Behälter stand ein Saugrohr in Verbindung, das in das Wasser hinabreichte, welches gehoben werden sollte, während sich an der entgegengesetzten Seite ein Steigrohr befand, um das Wasser aufwärts zu führen. Beide Röhren waren an ihren Mündungen mit Ventilen versehen, von denen sich das des Saugrohrs gegen das Innere des Behälters, das des Steigrohrs nach außen öffnete. Sobald der Dampf in diesen Behälter einströmte, wurde durch den Druck desselben das Ventil der Saugröhre geschlossen und das in dem Behälter befindliche Wasser durch das Steigrohr hinaufgetrieben. Wurde dann der Behälter durch darüber fließendes kaltes Wasser von außen abgekühlt, so verdichtete sich der Dampf, es entstand eine Luftleere, und während der Druck des Wassers das Ventil des Steigrohrs schloß, wurde durch den Druck der Atmosphäre das Wasser durch das Saugrohr in den Behälter emporgetrieben. Diese Maschine Savery's besaß offenbar große Unvollkommenheiten. Sie erforderte eine außerordentliche Spannung des Dampfes, wenn Wasser zu irgend beträchtlicher Höhe gehoben werden sollte. Eine Hebung von 60 Fuß war schon mit den größten Schwierigkeiten verbunden. Ueberdies war der Verbrauch dieser Maschine an Brennmaterial ein ungeheuerer, da der Dampf in unmittelbare Berührung mit dem zu hebenden Wasser gebracht werden mußte und sich dadurch zum großen Theile

verdichtete, also ungenutzt verloren ging. Immerhin hat Savery das Verdienst, die erste Dampfmaschine geliefert zu haben, die eine Anwendung, wenn auch freilich nur zu künstlichen Wasserwerken in Gärten und Treibhäusern, fand. Die Hoffnung aber, die man anfangs gehegt hatte, eine Kraftmaschine zur Hebung der Grubenwässer zu erhalten, wie sie seit dem neuen Aufschwunge der Grubenindustrie in England zu einem unabweislichen Bedürfnisse geworden war, wurde durch die Savery'sche Maschine noch nicht erfüllt.

Nach wenigen Jahren schon wurde diese Maschine gänzlich in den Hintergrund gedrängt durch die glänzende Erfindung zweier schlichter Handwerker zu Darmouth in Devonshire, des Schlossers Thomas Newcomen und des Glasers John Cowley. Diese kehrten zu dem Papin'schen Gedanken der Kolbenmaschine zurück, verbesserten dieselbe aber dadurch, daß sie den Dampf nicht in dem Cylinder selbst, sondern in einem besondern Dampfkessel erzeugen ließen, und daß sie die Verdichtung der Dämpfe nicht durch Abkühlen der Wände von außen, sondern durch Einspritzen von Wasser bewirkten. Die Construction dieser Newcomen'schen Maschine, die im J. 1705 für England patentirt, und deren erstes Exemplar in einer Kohlengrube zu Wolverhampton aufgestellt wurde, ist höchst einfach. Sie besteht aus einem Dampfkessel (A, Fig. 154), in welchem der Dampf erzeugt wird, und einem durch ein enges Rohr damit in Verbindung stehenden Cylinder (B), in welchem sich ein Kolben luftdicht auf und nieder bewegt. Sobald der Dampf in diesen Cylinder getreten ist und den Kolben in die Höhe getrieben hat, wird durch einen Hahn (a) die Verbindung mit dem Kessel geschlossen und ein zweiter Hahn (b) geöffnet, durch welchen ein Strahl kalten Wassers aus einem kleinen Reservoir (C) in den Cylinder eingespritzt wird. Die Dämpfe im Cylinder werden dadurch verdichtet, und der von außen auf den Kolben wirkende Druck der atmosphärischen Luft treibt ihn nun nieder. Das verdichtete Wasser aber fließt aus dem Cylinder durch ein besonderes Rohr (d) wieder ab, das in ein Wasserreservoir eintaucht und an seinem Ende mit einem nach außen sich öffnenden Ventile versehen ist. Um den Auf- und Niedergang des Kolbens in den Auf- und Niedergang einer Pumpenstange zu verwandeln, ist der Kolben mittelst einer Kette an den Arm eines Balanciers (D) gehängt, welcher auf einer Mauer ruht, und an dessen anderem Arme ebenfalls mittelst einer Kette die Pumpenstange (E) hängt. Durch den Niedergang des Kolbens wird die Pumpenstange natürlich gehoben. Beim Aufgange des Kolbens

kann sich aber die Bewegung nicht durch die biegsame Kette der Pumpenstange mittheilen, und diese muß darum durch ihr eigenes Gewicht niedergehen. Eine große Unbequemlichkeit veranlaßte in der ersten

Fig. 130.



Zeit die Regulirung der Hähne, für welche eine besondere Person angestellt werden mußte. Da gerieth im J. 1713 ein Knabe, Namens Potter, dem diese einförmige Beschäftigung langweilig wurde, auf den Einfall, dieselbe der Maschine selbst zu übertragen, indem er die Griffe der Hähne durch Schnüre mit dem Balancier verband. Später sind dann an die Stelle der Schnüre Stangen getreten, welche

durch kleine Hebel, die mit den Hähnen verbunden waren, dieselben öffneten und schlossen.

Bei allen diesen Maschinen, auch bei der Newcomen'schen, spielt der Dampf nur eine untergeordnete Rolle. Die eigentliche bewegende Kraft ist der Luftdruck, welcher den Kolben niederdrückt und dadurch das Wasser emportreibt. Man bezeichnet sie darum auch als atmosphärische Maschinen. Ebenso werden sie einfachwirkende Maschinen genannt, weil sie eine eigentliche Arbeit nur während des Kolbenniederganges verrichten, während des Kolbenaufganges aber sich leer bewegen. Ihre Anwendung ist noch eine sehr beschränkte; sie eignet sich fast nur zum Wasserheben, und ihre Nutzwirkung ist auch da im Vergleiche zu dem verbrauchten Brennmaterial sehr gering, da die Erwärmung der durch die Verdichtung der Dämpfe im Cylinder abgekühlten Cylinderwände eine bedeutende Menge Dampf für die Maschine selbst nutzlos zu verschwenden zwingt. Gleichwohl verbreitete sich die Newcomen'sche Maschine sehr schnell namentlich über die Kohlendistricte Englands.

Ueber ein halbes Jahrhundert war seit der Newcomen'schen Erfindung verflossen; die Wärmelehre hatte bedeutende Fortschritte gemacht, das Thermometer war erfunden, die latente Wärme und die Spannkraft des gesättigten Dampfes näher erkannt worden. Da wurde der junge Mechaniker James Watt zu Glasgow im Winter 1763 damit beauftragt, ein Modell der Newcomen'schen Maschine, das dem Cabinet der Universität gehörte, in brauchbaren Stand zu setzen. Mit dieser Arbeit beginnt eine neue glänzende Epoche in der Geschichte der Dampfkraft, die ihren Gipfelpunkt in der Herstellung einer Maschine findet, die noch heute gleichsam die Seele unserer Industrie bildet. Auf die Unvollkommenheiten der Newcomen'schen Maschine durch seine Arbeit aufmerksam geworden, fühlte der junge Watt das lebhafte Verlangen, denselben abzuhelfen. Als der größte Uebelstand erschien ihm, daß die Maschine weit mehr Dampf verbrauchte, als das Spiel des Kolbens erforderte. Diesen Uebelstand beseitigte er bereits im J. 1765 durch eine Erfindung von wahrhaft überraschender Einfachheit. Er ließ die Verdichtung des Dampfes nicht mehr in dem Dampfcylinder selbst, sondern in einem besonderen geschlossenen Gefäße, dem sogenannten Condensator, geschehen, der durch ein mit einem Hahne versehenes Rohr mit dem Dampfcylinder beliebig in Verbindung gesetzt werden kann. Die zweite Verbesserung, welche Watt sich im J. 1769 patentiren ließ, war die Beseitigung des Luft-

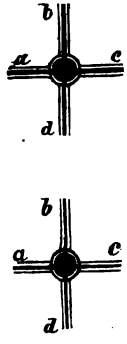
drucks, welcher bisher den Niedergang des Kolbens bewirkte. Er ließ die ganze Thätigkeit der Maschine ausschließlich durch die Spannkraft des Dampfes hervorbringen. Der bisher oben offene Dampfcylinder wurde jetzt auch oben geschlossen, und nur der Kolbenstange war durch eine sog. Stopfbüchse der Durchgang gestattet. Die Arbeit wurde von der Maschine auch hier nur beim Niedergange des Kolbens geleistet. Der Dampf trat über dem Kolben ein, während gleichzeitig der Raum unter dem Kolben mit dem Condensator in Verbindung gesetzt wurde. War der Kolben dadurch niederwärts getrieben, so wurden durch Hähne der Dampfkessel und der Condensator von dem Dampfcylinder abgesperrt, dafür aber die Räume über und unter dem Kolben unter einander in Verbindung gesetzt. Da nun von oben und unten der gleiche Druck gegen den Kolben wirkte, so konnte ein Gegengewicht, das am Ende des Balanciers angebracht war, den Kolben wieder aufwärts bewegen. Diese Watt'sche Maschine war zwar noch immer nur eine einfach wirkende, aber nicht mehr eine atmosphärische, sondern eine wirkliche Dampfmaschine. Ihre Leistung war der Newcomen'schen gegenüber so bedeutend, daß die Ersparung an Brennmaterial nicht weniger als 75 Procent betrug.

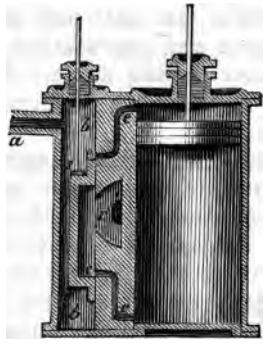
Die folgenreichste aller Watt'schen Verbesserungen aber war die Umwandlung der einfach wirkenden Dampfmaschine in die doppelt wirkende, d. h. in eine solche Maschine, bei welcher nicht blos der Niedergang, sondern auch der Aufgang des Kolbens durch die Spannkraft des Dampfes bewirkt wird, welche also nicht blos beim Niedergange, sondern auch beim Aufgange des Kolbens Arbeit leistet. Folgenreich war diese Umwandlung deshalb, weil sich daran die Umwandlung der auf- und niedergehenden Bewegung des Kolbens in eine gleichförmig-kreisförmige Bewegung anschloß, durch welche allein erst die Dampfmaschine, die bis dahin nur einseitig zum Wasserheben gedient hatte, in den Stand gesetzt wurde, alle die zahlreichen und mannigfachen Arbeiten auszuführen, welche die Industrie fordert, Dreh- und Bohrbänke, Webstühle und Spinnmaschinen, Gebläse und Ventilatoren, Mühlen, Hammer- und Walzwerke zu bewegen.

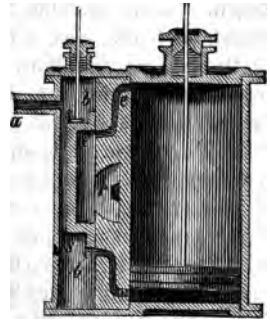
Eine solche gleichförmige drehende Bewegung vermochte die einfach wirkende Maschine deshalb nicht zu leisten, weil bei ihr der Dampfdruck nur während des Kolbenniederganges wirksam ist, während des Kolbenaufganges also keine Kraft vorhanden ist, um Widerstände stetig und ununterbrochen zu überwinden. Die erste Aufgabe für Watt war also auch die Aufwärtsbewegung des Kolbens durch den Dampf-

druck bewirken zu lassen. Er erreichte dies durch eine Einrichtung, die es möglich machte, den Cylinderraum oberhalb wie unterhalb des Kolbens abwechselnd mit dem Dampfkessel und mit dem Condensator in Verbindung zu setzen. Diese Einrichtung war der sogenannte Vierwegehahn, d. h. ein Hahn, welcher zwei von einander unabhängige Durchbohrungen hat und daher von vier an ihm mündenden Röhren je zwei abwechselnd mit dem einen und mit dem andern der beiden übrigen in Verbindung setzen kann (Fig. 155). Jetzt dient statt dessen gewöhnlich das sogenannte Schieberventil (Fig. 156 u. 157). Neben dem Dampfcylinder ist nämlich ein viereckiger Kasten angebracht, in welchen der Dampf aus dem Dampfkessel

Fig. 155. Fig. 156. Fig. 157.





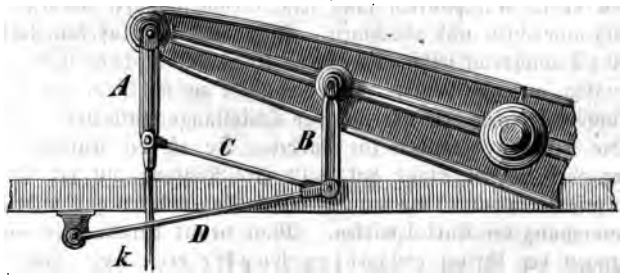


zunächst eintreten muß, in welchen aber auch zugleich die Canäle münden, die den Dampf zum Condensator und zu dem obern und untern Cylinderraume leiten sollen. In diesem Kasten bewegt sich nun aber auch ein Schieber (s) auf und nieder, welcher so eingerichtet ist, daß er abwechselnd den zum obern und dann wieder den zum untern Cylinderraume führenden Canal von dem Kasten absperrt und dafür nur den Weg zum Condensatorraume frei läßt. Hat der Kolben seine tiefste Stellung erlangt (Fig. 156), so treten die Dämpfe aus dem Kessel durch das Rohr (a) in den Kasten (b) ein und gelangen von hier durch den Canal (c) in den unteren Cylinderraum, treiben also den Kolben aufwärts. Gleichzeitig ist den Dämpfen des oberen Raums der Canal (e) geöffnet; aber sie gelangen durch diesen in den

Raum r, der durch ein Rohr mit dem Condensator verbunden ist, in welchem die Dämpfe verdichtet werden. Ist der Kolben oben angelangt (Fig. 157), so treten umgekehrt die Dämpfe aus dem Kessel durch den Canal e in den Raum über dem Kolben und drücken diesen nieder, während die Dämpfe unterhalb des Kolbens durch den Canal c zum Condensator entweichen.

Durch diese Vorrichtung ist die Maschine nun zwar in den Stand gesetzt, auch beim Aufgange des Kolbens Kraft auszuüben. Aber wenn diese Kraft auf den Balancier übertragen werden soll, so darf derselbe nicht mehr wie bisher durch eine biegsame Kette mit der Kolbenstange verbunden sein, sondern an Stelle derselben muß eine unbiegsame Stange treten. Dadurch aber wird eine neue Schwierigkeit bereitet. Die auf- und niedergehende Kolbenstange hat offenbar nur eine geradlinige Bewegung, während das Ende des Balanciers, an welchem sie befestigt sein soll, gerade so wie das Ende eines Wagebalkens einen Kreisbogen beschreibt. Beide Bewegungen müssen mit einander vermittelt werden, ohne den Gang der Maschine zu stören, und Watt erreichte dies durch jene sinnreiche Einrichtung, die man das Watt'sche Parallelogramm nennt, und die man nicht in Thätigkeit sehen kann, ohne sie zu bewundern. Es sind zwei gleichlange Stangen (A u. B, Fig. 158), die eine am Ende des Balanciers, die andere in

Fig. 158.



einiger Entfernung daran aufgehängt, beide unten durch eine dritte Stange (C) verbunden und sämmtlich an ihren Verbindungsstellen um Charniere drehbar. An das untere Ende der vom Balancierende herabhängenden Stange ist gleichfalls drehbar die Kolbenstange (K) befestigt, während eine vierte, an dem Maschinengestell drehbar be-

festigte Stange (D) mit dem Ende der zweiten vom Balancier herabhängenden Stange (B) verbunden ist. Wird der Balancier durch den auf- und niedergehenden Kolben in Bewegung gesetzt, so bewegen sich die das Parallelogramm bildenden Stangen gegen einander, und zwar so, daß drei Endpunkte des Parallelogramms Kreisbogen beschreiben, während der vierte, in welchem die Kolbenstange befestigt ist, in seiner Bewegung kaum von der geraden Linie abweicht.

Mit dieser sinnreichen Vorrichtung ist freilich erst ein Theil der Aufgabe erfüllt. Der abwechselnd auf die beiden Seiten des Kolbens wirkende Dampfdruck ist auf den Balancier übertragen, aber die hin- und herschwingende Bewegung dieses Balanciers muß nun auch in die drehende Bewegung einer Welle verwandelt werden. Watt erreichte dies durch einen einfachen Mechanismus, der Jedem von dem Spinnrade und dem Schleifsteine her bekannt ist, durch Kurbel und Treibstange. Die Treibstange oder sogenannte Pleuelstange ist an dem Ende des Balanciers drehbar aufgehängt und umfaßt mit ihrem unteren Ende den Zapfen der Kurbel, die an der zu drehenden Welle befestigt ist. Freilich kann die Drehung dieser Kurbelwelle zunächst keine gleichförmige sein. Schon die auf- und niedergehende Bewegung des Kolbens bedingt eine gewisse Ungleichförmigkeit. Jedesmal, wenn der Kolben oben oder unten im Cylinder angekommen ist, und seine Bewegung aus der einen in die entgegengesetzte Richtung übergeht, gelangt er für einen Augenblick vollständig zur Ruhe, und zwischen diesen Ruhepunkten muß seine Geschwindigkeit naturgemäß allmälig anwachsen und abnehmen. Aber auch der auf den Kolben wirkende Dampfdruck selbst ist während eines Kolbenschubs nicht ganz gleichmäßig, anfangs kleiner, gegen das Ende am stärksten. Zu diesen Ungleichförmigkeiten, die sich auch der Treibstange mittheilen, kommt noch die Stellung derselben zur Kurbel. So oft die Kurbel ihren höchsten oder tiefsten Stand hat, fällt ihre Richtung mit der Treibstange zusammen, und diese kann in diesen Augenblicken gar nicht auf die Umdrehung der Kurbel wirken. Man nennt darum diese beiden Stellungen der Kurbel die todten Punkte derselben. Zwischen diesen beiden Punkten nimmt dann die von der Treibstange ausgeübte Wirkung und damit auch die Geschwindigkeit der Kurbelbewegung allmälig zu und wieder ab. Daß die Maschine in den todten Punkten nicht geradezu zum Stillstande kommt, liegt nur daran, daß die einzelnen Maschinentheile vermöge ihrer Trägheit ihre Bewegung fortsetzen. In der Vermehrung dieser Trägheit fand daher auch Watt

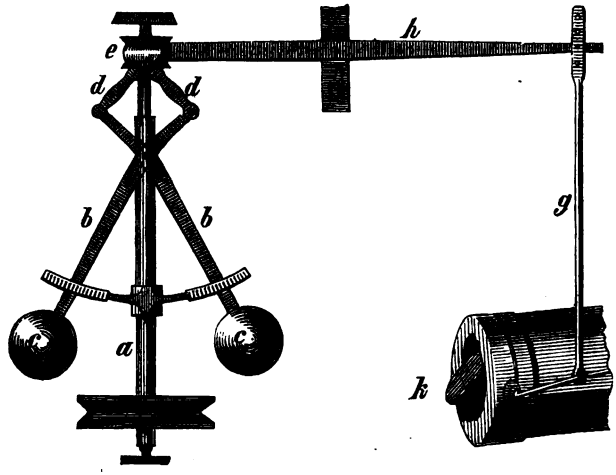
das Mittel, die Ungleichheiten in der Bewegung der Maschine auszugleichen. Dieses Mittel besteht in dem Schwungrade, einem Rade von bedeutendem Durchmesser und großem Gewichte, das auf der Kurbelwelle befestigt ist und mit dieser sich umdreht. Dieses Schwungrad kann allerdings nicht, wie man oft fälschlich meint, die Kraft der Maschine vermehren, sondern es kann nur vermöge seiner Trägheit gleichsam in den Momenten des Ueberflusses Arbeit auffammeln, um sie in den Momenten des Mangels wieder abzugeben.

Aber es giebt noch eine Quelle von Unregelmäßigkeiten für die Dampfmaschine, die nicht durch das Schwungrad beseitigt wird. Das sind einestheils Aenderungen in der Dampfspannung, die durch jede Ungleichförmigkeit in der Unterhaltung des Feuers oder in der Zuführung des frischen Wassers in den Kessel veranlaßt werden, anderntheils Veränderungen der Widerstände, welche der Kolbendruck überwinden soll, namentlich bei solchen Dampfmaschinen, die eine Menge von Arbeiten zugleich verrichten, etwa Hunderte von Webstühlen treiben, von denen dann immer zeitweise einige in Ruhe versetzt werden. Man sollte kaum glauben, daß auch diese Ungleichförmigkeit sich beseitigen lasse, wenigstens nicht, daß eine seelenlose Maschine im Stande sei, selbst dafür zu sorgen, daß den so verschiedenen Widerständen gegenüber auch immer die entsprechende Kraft abgemessen werde. Dennoch hat Watt dies durch die sogenannte Drosselklappe in Verbindung mit dem Centrifugal-Regulator erreicht (Fig. 159, siehe folgende Seite).

Die Drosselklappe ist eine gewöhnliche Klappe (k), welche in dem Rohre, das den Dampf vom Kessel zum Cylinder führt, angebracht ist, und zwar so, daß sie von außen gedreht werden kann. Ist diese Klappe ganz geöffnet, so strömt der Dampf ungehindert in den Cylinder. Wird sie aber mehr und mehr geschlossen, so wird auch in demselben Verhältnisse die Menge des durchströmenden Dampfes vermindert. Man kann also durch die Stellung der Klappe es erreichen, daß die Dampfspannung im Cylinder stets die gleiche bleibt, wie sich auch die Dampfspannung im Kessel verändern möge. Wollte man die Regulirung dieser Drosselklappe dem Maschinenwärter auftragen, so hieße das in der That seiner Aufmerksamkeit und Sorgfalt Unmögliches zumuthen. Watt kam daher auf den Gedanken, der Maschine, die ja schon mit so bewunderungswürdigem Geschick die Steuerung der Ventile selbst besorgt, auch die Leitung dieser Klappe zu übertragen.

Er that dies durch den überaus sinnreichen Mechanismus des Centrifugal-Regulators. Er besteht aus einem sogenannten konischen Pendel oder zwei durch die Welle (a) gesteckten und um einen Zapfen drehbaren Hebeln (b), die unten mit metallenen Kugeln (c) von be-

Fig. 159.



deutendem Gewichte beschwert sind. Mit diesen sind an ihren oberen Enden, gleichfalls um Zapfen drehbar, kleinere Stangen (d) verbunden, die oben an einer Hülse (e) befestigt sind, welche an der Axe der Welle auf und niedergleiten kann. Sobald die Welle rasch gedreht wird, fahren die schweren Kugeln vermöge ihrer Centrifugalkraft aus einander und ziehen dadurch die Hülse herab. An dieser Hülse aber ist ein zweiarmiger Hebel (h) befestigt, welcher durch eine Stange (g) den kleinen Hebel bewegt, der die Drosselklappe dreht. Durch das Herabgleiten der Hülse wird also die Drosselklappe mehr und mehr geschlossen. Bewegt sich aber die Welle langsamer, so sinken die Kugeln etwas herab, rücken dadurch die Hülse mehr hinauf, und der von dieser abhängige Hebel öffnet die Klappe mehr. Man sieht also, daß, so oft sich der Gang der Maschine aus irgend einer Ursache beschleunigt, etwa weil die von ihr zu überwindenden Widerstände abnehmen, oder weil die Dampfspannung im Kessel wächst, die

Kugeln des Regulators aus einander fahren, die Drosselklappe mehr zudrehen und dadurch den Dampfzufluß vermindern, daß aber, so oft die Geschwindigkeit der Maschine aus entgegengesetzten Gründen sich verlangsamt hat, die zusammenfallenden Regulatorkugeln die Drosselklappe mehr öffnen und dadurch den Dampfzufluß vermehren.

So verrichtet die Dampfmaschine nicht allein die ihr aufgetragene Arbeit, sondern sie macht auch die beständige Aufsicht eines Wärters entbehrlich, indem sie ihren Gang selbst regelt. Sie bewegt selbst die Steuerung, d. h. die Ventile, welche den Dampf in die Räume des Cylinders vertheilen und zum Condensator leiten. Sie bewegt selbst die Pumpen, sowohl die Kaltwasserpumpe, welche dem Condensator das zur Verdichtung der Dämpfe nöthige kalte Wasser zuführt, als die sogenannte Luftpumpe oder Warmwasserpumpe, welche das condensirte Wasser und die in dem Condensator sich anhäufende Luft entfernt, als endlich die Speisepumpe, welche den Kessel mit frischem Wasser versorgt.

Bei allen von Watt selbst gebauten Maschinen wurden nur Dämpfe von geringer Spannung, höchstens von $1^1/_4$ Atmosphären angewandt, und es bedurfte eben deshalb bei diesen einer Verdichtung der Dämpfe, um den nothwendigen Unterschied zwischen dem Drucke auf der einen Seite des Kolbens und dem auf der andern Seite herbeizuführen. Es begreift sich aber leicht, daß, wenn man Dämpfe von größerer Spannkraft anwendet, schon der gewöhnliche Druck der Atmosphäre auf der andern Seite des Kolbens einen hinreichend wirksamen Unterschied der beiderseitigen Druckkräfte zuläßt, so daß eine Condensirung der Dämpfe überflüssig wird. Solche Maschinen, in denen immer Dampf von höherer Spannkraft, gewöhnlich von 3- bis 6fachem Atmosphärendrucke, wirksam ist, bezeichnet man als Hochdruckmaschinen, während jene mit Dämpfen von niederer Spannkraft, gewöhnlich von nicht mehr als $1^1/_2$ Atmosphären, Niederdruckmaschinen genannt werden.

Der erste Gedanke einer Hochdruckmaschine rührt unzweifelhaft von dem deutschen Mechaniker Leupold her, und zwar wurde er bereits im J. 1725 ausgesprochen. Aber Leupold's „Feuermaschine" ist niemals zur Ausführung gekommen, und dem jungen Nordamerika war es vorbehalten, diese wichtige Maschine zuerst in die Industrie einzuführen. Olivier Evans, ein einfacher Stellmacher in Philadelphia, war es, der im J. 1772 durch ein in Amerika beliebtes Knabenspiel auf den Gedanken geleitet wurde, Dampf von hohem

Drucke zur Bewegung von Maschinen zu verwenden, und seine Maschinen fanden wegen ihrer Einfachheit außerordentlich schnellen Eingang nicht blos in Amerika, sondern sehr bald auch in England.

Da die Hochdruckmaschine der Condensation nicht bedarf, obwohl ihre Anwendung keineswegs ausgeschlossen ist, in einzelnen Fällen auch wirklich eintritt, so werden bei ihr auch alle dieTheile entbehrlich, welche zur Verdichtung des Dampfes dienen. Die Einrichtung des Cylinders, des Kolbens, der Steuerung, der Kurbel, des Schwungrades, des Regulators, der Pumpe zur Kesselspeisung bleibt wesentlich dieselbe. Aber der Balancier ist nicht mehr nothwendig, da die Bewegung der einen noch übrig gebliebenen Pumpe und der wenigen Ventile sich viel einfacher erreichen läßt. Die Treib- oder Pleuelstange wird daher unmittelbar mit der Kolbenstange verbunden, und die geradlinige Bewegung der letzteren einfach durch zwei Leisten, die sogenannten Geradführungen, bewirkt, zwischen denen sie hin- und hergleitet. Die Bewegung des Schieberventils, der Drosselklappe, der Speisepumpe geht unmittelbar von der Kurbelwelle aus und wird durch excentrische Scheiben vermittelt, welche an der Welle befestigt sind. Die ganze Maschine wird in dieser Weise außerordentlich zusammengedrängt und ihre Anwendbarkeit dadurch wesentlich vermehrt, zumal das Wegfallen des Balanciers auch jede andere als die verticale Stellung des Cylinders, selbst die liegende, zuläßt. Eine noch größere Zusammendrängung der Maschine wird dadurch ermöglicht, daß man das große Schwungrad durch eine andere Einrichtung ersetzt, welche wenigstens in gewissen Fällen eine hinreichende Gleichmäßigkeit des Ganges gewährt. Man wendet nämlich statt einer Maschine zwei von der halben Kraft an und läßt diese auf eine gemeinschaftliche Kurbelwelle wirken, doch so, daß die beiden Kurbeln einen rechten Winkel mit einander bilden. So oft dann die eine Kurbel sich in einem ihrer todten Punkte befindet, ist die andere gleichzeitig in ihre günstigste Stellung getreten. Solche gekuppelte Maschinen sind es, die ihre Anwendung auf unseren Dampfschiffen und Locomotiven finden. Letztere gehören darum in der That zu den einfachsten aller Dampfmaschinen.

Bei den außerordentlichen Vortheilen, welche die Dampfmaschinen dem industriellen Betriebe gewährten, hatte man anfangs wenig an eine Ersparung von Dampf gedacht. Gleichwohl wird bei der Hoch- wie Niederdruckmaschine die Wirkung des Dampfes keineswegs vollkommen ausgenutzt. Der gebrauchte Dampf entweicht, wenn der

Kolben das eine oder andere Ende des Cylinders erreicht hat, fast mit ungeschwächter Elasticität in die atmosphärische Luft oder in den Condensatorraum. Schon Watt entging zwar diese Verschwendung nicht, aber erst Olivier Evans gelang es, sie zu beseitigen, indem er die bloße Ausdehnung oder Expansion des Dampfes als bewegende Kraft benutzte. Statt wie bei den gewöhnlichen Maschinen bis zum Ende des Kolbenschubes fortwährend Dampf in die Cylinder treten zu lassen, sperrt man bei den sogenannten Expansions-Maschinen den Dampfzufluß ab, nachdem der Kolben nur einen Theil seines Weges im Cylinder durchlaufen hat. Während des übrigen Theiles dieser Bewegung wirkt nur die Elasticität des sich ausdehnenden Dampfes auf den Kolben als bewegende Kraft. Hat der Kolben den ganzen Weg vollendet, so hat der Dampf sich in einen so viel größeren Raum ausgedehnt, und seine Spannkraft daher sich um so viel verringert, daß sie kaum noch größer ist, als die Spannkraft des Raumes, in welchen der Dampf entweicht. Die Ersparung an Dampf und damit auch an Brennstoff ist bei einer solchen Ausnutzung des Dampfes ziemlich bedeutend.

Die bewegende Kraft in der Dampfmaschine ist allerdings zunächst die Spannkraft des Dampfes, aber in letzter Reihe doch nur die Wärme, welche das Wasser in Dampf verwandelt. Da nun der Arbeitswerth der Wärme aus den Joule'schen Versuchen ziemlich genau bekannt ist, so ist es sehr interessant, diesen Arbeitswerth mit der wirklich von einer Dampfmaschine geleisteten Arbeit zu vergleichen. Nimmt man für die Arbeit einer Pferdekraft 75 Kilogrammometer in der Secunde an, so wird eine Dampfmaschine von 1 Pferdekraft in einer Stunde eine Arbeit von 270,000 Kilogrammometern leisten. Um aber diese Wirkung zu erhalten, müssen in der Stunde nahezu 15 Kilogramm Wasser im Kessel verdampft werden, und dazu sind nicht weniger als 8250 Wärmeeinheiten erforderlich. Diese 8250 Wärmeeinheiten entsprechen aber nach dem Joule'schen Arbeitsäquivalent für Wärme 3,500,000 Kilogrammometern, d. h. fast dem 13fachen derjenigen Arbeitsgröße, welche wirklich von der Maschine geleistet wird. Dabei ist noch gar nicht berücksichtigt, daß ein großer Theil der durch den Wasserdampf in einer Dampfmaschine geleisteten Arbeit, in den meisten Fällen fast die Hälfte, dazu verwendet wird, theils den auf der anderen Seite des Kolbens lastenden Druck, theils die Reibungswiderstände zu bewältigen. Die nutzbar zu verwendende Arbeit einer Dampfmaschine beträgt daher in der Regel nicht mehr als den 20. Theil

derjenigen Arbeit, welche die dabei verbrauchte Wärme wirklich zu erzeugen im Stande ist.

Ein so bedeutender Kraftverlust bei der Dampfmaschine erklärt sich einfach dadurch, daß nur ein geringer Theil der dem Wasser im Kessel zugeführten Wärme zur Ausdehnung, also zur Hervorbringung mechanischer Wirkungen benutzt wird, daß der größte Theil vielmehr zur Umwandlung des Wassers in Dampf dient und darum als gebundene Wärme durch den entweichenden Dampf der Maschine wieder entführt wird. Carnot wurde dadurch im J. 1824 sogar zu der eigenthümlichen Ansicht verleitet, daß alle Wärme, welche dem Dampfe im Kessel mitgetheilt wird, sich im Condensator wieder finden müsse, daß also durch die Arbeit selbst keine Wärme verbraucht werde, sondern daß die Arbeit der Dampfmaschine nur durch die Uebertragung der Wärme von einem Punkte zum anderen entstehe. Daß diese Ansicht eine irrige war, daß auf dem Wege vom Kessel zum Condensator wirklich ein Theil der Wärme verloren geht, und zwar ein jedesmal der geleisteten Arbeit entsprechender Theil, ist längst nachgewiesen.

Man hat aber auch versucht, den großen Kraftverlust bei Dampfmaschinen dadurch zu umgehen, daß man die Veränderung des Aggregatzustandes vermied und allein die Expansionskraft erwärmter Luft oder überhitzter Dämpfe zur Bewegung von Maschinen in Anwendung brachte. Darauf beruht die bekannte calorische Maschine, welche der schwedische Ingenieur Ericson zuerst im J. 1853 ausführte, und welche seit dem J. 1859 vereinfacht und verbessert auch in Deutschland Eingang in viele Werkstätten gefunden hat. Theoretisch könnte diese Maschine allerdings den Vorzug vor der Dampfmaschine beanspruchen; aber in der Praxis zeigt sie sich mit so erheblichen Schwierigkeiten verbunden, daß ihre Leistung weit hinter der der Dampfmaschine zurückbleibt. Die treibende Kraft in ihr ist die Spannkraft erwärmter Luft. Die Wärmemenge, welche man der im Cylinder eingeschlossenen Luft zuführen muß, um den Kolben in die Höhe zu treiben, ist nun zwar äußerst gering gegen diejenige Wärmemenge, welche nöthig ist, um durch Dampf dieselbe Wirkung auszuüben. Aber die Wärme kann hier nicht aus einem besonderen Reservoir, dem Kessel in der Dampfmaschine entsprechend, dem Cylinder zugeführt werden; die Erhitzung der Luft muß vielmehr in diesem selbst vor sich gehen, der Cylinder unmittelbar vom Feuerraume umgeben sein. Dies macht eine zweckmäßige Anlage der Feuerung unmöglich und bedingt zugleich außerordentliche Wärmeverluste durch

Erhitzung der nahen Maschinentheile, womit wieder eine schnelle Abnutzung dieser verbunden ist. Dieser Uebelstand ist um so größer, als weit höhere Hitzegrade erforderlich sind, um die Spannkraft der Luft zu einem gewissen Grade zu steigern, als es beim Dampfe der Fall ist. Zu einer Spannkraft von 2 Atmosphären ist eine Erhitzung der Luft auf 271° erfordert, während Dampf von 2 Atmosphären eine Temperatur von 121° hat. Daß in so hohen Temperaturen ein luftdichter Verschluß des Cylinders kaum möglich wird, und daß dadurch wieder bedeutende Wärmeverluste herbeigeführt werden müssen, ist selbstverständlich. Jedenfalls bleibt der Zukunft hier noch eine umfassende Aufgabe zu lösen.

Die specifische Wärme.

So sehr auch die Arbeit der Wärme, wie wir sie in der Ausdehnung der Körper und in der Spannkraft der Dämpfe kennen gelernt haben, für die mechanische Auffassung der Wärme spricht, so wenig wir fast im Stande sind, diese Arbeit anders als durch eine Verwandlung der Theilchenbewegung in die Körperbewegung zu erklären, so giebt es doch Thatsachen im Gebiete der Wärmeerscheinungen, die sich für jetzt wenigstens noch nicht recht mit der mechanischen Theorie vereinigen lassen. Wenn Wärme nichts Anderes als Bewegung, und ihre Wirkung nichts Anderes als Uebertragung dieser Bewegung auf die Theilchen anderer Körper ist, so sollte man meinen, müßte es durchaus gleichgültig sein, von welcher Natur der Körper ist, von welchem die Wärme ausgeht. Wenn wir unter einer Wärmeeinheit diejenige Wärmemenge verstanden, welche erforderlich ist, um 1 Kilogramm Wasser von 0° auf 1° zu erwärmen, so sollten wir denken, daß auch dieselbe Wärmeeinheit im Stande sein müsse, 1 Kilogramm Quecksilber oder 1 Kilogramm Eisen von 0° auf 1° zu erwärmen. Die Erfahrung aber lehrt uns etwas ganz Anderes. Um 1 Kilogramm Eisen um 1° zu erwärmen, braucht man kaum den 9. Theil, um 1 Kilogr. Quecksilber um 1° zu erwärmen, sogar nur den 30. Theil derjenigen Wärmemenge, welche nöthig ist, um die Temperatur des Wassers um 1° zu erhöhen.

Diese räthselhafte Thatsache tritt besonders deutlich hervor, wenn man verschiedene Stoffe mit einander mischt. Wenn man 1 Pfund Wasser von 10° mit 1 Pfd. Wasser von 60° mischt, so nimmt bekanntlich die Mischung nahezu die mittlere Temperatur von 35° an;

das eine Pfund Wasser hat also, indem seine Temperatur um 25° sank, eine Wärmemenge abgegeben, die gerade hinreichte, die Temperatur des anderen Pfundes um 25° zu erhöhen. Wenn man aber 1 Pfd. Wasser von 10° mit 1 Pfund Eisen von 60°, etwa in der Form von Eisenfeilicht, mischt, so zeigt das Gemenge nur eine Temperatur von 15°. Die Temperatur des Wassers ist also nur um 5° gestiegen, während die des Eisens um 45° gesunken ist, und dieselbe Wärmemenge, welche in einem Pfunde Eisen eine Temperaturerhöhung von 45° bewirken konnte, vermochte die Temperatur von 1 Pfund Wasser nur um 5° zu erhöhen. Um also die Temperatur des Eisens um eine bestimmte Anzahl von Graden zu erhöhen, bedarf es nur des neunten Theils der Wärmemenge, welche nöthig ist, dieselbe Temperaturerhöhung in derselben Gewichtsmenge Wasser zu bewirken. Mischt man vollends 1 Pfund Wasser von 10° mit 1 Pfund Quecksilber von 60°, so zeigt die Mischung nur eine Temperatur von etwa $11^1/_2{}^0$, so daß also die Temperatur des Wassers sich nur um $1^1/_2{}^0$ erhöht hat, während die des Quecksilbers fast um $48^1/_2{}^0$ erniedrigt worden ist. Das Quecksilber bedarf also nur des 30. Theils der Wärmemenge, welche in der gleichen Gewichtsmenge Wasser die gleiche Temperaturerhöhung hervorbringt.

Diese Eigenschaft der Körper, je nach ihrer stofflichen Natur verschiedener Wärmemengen zu der gleichen Temperaturerhöhung zu bedürfen, nennt man ihre Wärmecapacität. Diejenige Wärmemenge aber, oder vielmehr diejenige Zahl von Wärmeeinheiten, welche erforderlich ist, um die Temperatur eines Kilogramms einer Substanz um 1° C. zu erhöhen, bezeichnet man als ihre specifische Wärme. Die specifische Wärme des Wassers also ist = 1, die des Eisens = 0,1137, die des Quecksilbers = 0,033. Unter allen festen und flüssigen Körpern besitzt das Wasser die größte Wärmecapacität.

Zur Ermittelung der specifischen Wärme der verschiedenen Körper kann man entweder in der schon angegebenen Weise verfahren, also die Körper von genau bekannten Gewichtsmengen und genau bestimmter Temperatur mit einer ebenso nach Gewicht und Temperatur bekannten Wassermenge vermischen oder in dieselbe eintauchen; oder man kann die verschiedenen Gewichtsmengen von Eis vergleichen, welche durch die gleiche Gewichtsmenge verschiedener Stoffe von gleicher Temperatur geschmolzen werden. Man kann dazu aber auch die Wärmeverluste benutzen, welche die Körper durch Wärmestrahlung erleiden. Denn offenbar muß ein Körper unter sonst gleichen Um-

ständen um so langsamer erkalten, je größer seine specifische Wärme ist. Daß das Letztere der Fall ist, lehrt uns schon eine Menge von Thatsachen des täglichen Lebens. Jeder weiß, daß ein Porzellan-Ofen langsamer erkaltet, als ein eiserner, daß Holz von den Sonnenstrahlen langsamer erwärmt wird, aber auch diese Wärme langsamer wieder abgiebt, als Metalle, daß wiederum Blei schneller erkaltet, als Kupfer, daß Oel länger heiß bleibt, als Wasser. Die Wissenschaft zeigt uns durch die Zahlen, welche sie für die specifische Wärme gefunden, die Bestätigung dieser Erfahrungen. Sie zeigt, daß Porzellan fast die doppelte specifische Wärme besitzt, wie das Eisen, daß Holz, namentlich Lindenholz, eine 7mal so große specifische Wärme hat, wie Kupfer, daß die specifische Wärme des Kupfers wiederum die des Bleis um das 3fache übertrifft, und die des Olivenöls endlich nur halb so groß als die des Wassers ist. Ebenso stimmt die geringe Wärmecapacität des Erdbodens, die fast um das 4fache von der des Wassers übertroffen wird, mit der Erfahrung zusammen, daß der Erdboden weit schneller von den Sonnenstrahlen erwärmt, aber auch durch kalte Winde und Ausstrahlung weit schneller seiner Wärme wieder beraubt wird, als das Wasser.

Die specifische Wärme verschiedener Körper steht durchaus in keiner Beziehung zu der verschiedenen Dichtigkeit derselben oder zu ihrer Ausdehnung durch die Wärme. Das Blei hat dieselbe specifische Wärme, wie das fast doppelt so dichte Gold, und das Silber hat eine doppelt so große Wärmecapacität, als das Blei, obwohl die specifischen Gewichte beider sich wenig unterscheiden. Wohl aber kann sich die specifische Wärme eines und desselben Körpers wirklich ändern, wenn seine Dichtigkeit Veränderungen erleidet. Namentlich bei Metallen nimmt die specifische Wärme merklich ab, wenn die Dichtigkeit, etwa durch Hämmern, vermehrt wird. Ebenso nimmt die specifische Wärme eines Körpers in höherer Temperatur zu, am stärksten, wenn er in den flüssigen Zustand übergeht. So ist die specifische Wärme des Eises unter 0° nur halb so groß, als die des Wassers über 0°, und die des flüssigen Bleis zwischen 350—450° C. fast um $^1/_3$ größer, als die des starren Bleis zwischen 0° und 100°.

Besonders erheblich ist die Veränderlichkeit der specifischen Wärme in Folge veränderter Dichtigkeit bei luftförmigen Körpern, die einer Verdichtung in so hohem Grade fähig sind. Die Wärmecapacität der Luft kann in Folge einer Zusammenpressung durch Druck oder Stoß so sehr verringert werden, daß die frei werdende Wärme, wie

es im pneumatischen Feuerzeuge der Fall ist, hinreicht, Körper zu entzünden. Auch bei der Verdichtung von Gasen in Flüssigkeiten oder porösen Körpern, von denen sie verschluckt werden, kann die verringerte specifische Wärme zu bedeutender Erwärmung führen.

Um die specifische Wärme eines luftförmigen Körpers zu bestimmen, leitet man einen Strom des zu einer bestimmten Temperatur erwärmten Gases vermittelst eines schlangenförmig gewundenen Rohres durch eine abgewogene Menge Wasser und beobachtet die dadurch bewirkte Temperaturerhöhung. Man findet in dieser Weise, die specifische Wärme des Wassers als Einheit genommen, die specifische Wärme der atmosphärischen Luft = 0,267, des Wasserdampfes = 0,847, der Kohlensäure = 0,221, des Wasserstoffgases = 3,294. Da die specifische Wärme des Wasserdampfes also über 3mal so groß ist, als die der atmosphärischen Luft, so muß man letzterer mehr als die 3fache Wärme zuführen, um in ihr eine bestimmte Temperaturerhöhung herbeizuführen, als dem Wasserdampfe gegenüber erforderlich ist. Bestimmt man die specifische Wärme der luftförmigen Körper für gleiche Volumina, so kommt man zu dem überraschenden Resultate, daß wenigstens für permanente Gase die specifischen Wärmen gleicher Volumina nahezu gleich sind.

Da bei jeder Verminderung der Wärmecapacität Wärme frei werden muß, und da eine solche Verminderung der Wärmecapacität vorzugsweise bei einer Verdichtung der Körper eintritt, so erklären sich daraus eine Menge von Wärmeerscheinungen, die durch Druck hervorgerufen werden. Namentlich beruht darauf zum großen Theile die Wirkung des pneumatischen Feuerzeugs, bei welchem die Luft in einem starken Glasrohre durch einen Stempel schnell bis auf $^1/_5$ zusammengedrückt und dadurch so viel Wärme erzeugt wird, daß sich ein darin befindlicher Feuerschwamm entzündet. Ebenso ist diese Verminderung der Wärmecapacität betheiligt bei dem Erglühen poröser Körper, wenn sie Gase in sich verdichten, z. B. bei der Selbstentzündung fein zertheilter Kohle oder beim Glühen des Platinschwamms und dünner Silber- und Goldblättchen, wenn sie mit Sauerstoff und Wasserstoffgas in Berührung kommen. Auch beim Erglühen des Eisens unter dem Hammer, der Entzündung des Knallsilbers durch den Stoß kommt ein großer Theil der Wärmeerzeugung auf die verminderte Wärmecapacität in Folge der Verdichtung.

Die Beziehung, welche für einen und denselben Körper zwischen seiner Dichtigkeit oder specifischen Schwere und seiner specifischen Wärme

besteht, hat bekanntlich keine Geltung mehr, sobald man es mit Körpern von verschiedener chemischer Natur zu thun hat. Um so interessanter ist die zuerst von den französischen Naturforschern Dulong und Petit im J. 1819 nachgewiesene Beziehung zwischen der specifischen Wärme und der chemischen Verwandtschaft der Körper. Für die chemische Verbindung der Stoffe unter einander besteht bekanntlich das Gesetz, daß sie stets nur in ganz bestimmten Gewichtsmengen erfolgen kann. Diese Gewichtsmengen nun, in denen sich die verschiedenen Substanzen mit der gleichen Gewichtsmenge einer als Einheit angenommenen Substanz, z. B. des Sauerstoffs, verbinden können, nennt man ihre Aequivalentzahlen oder auch ihre Atomgewichte. Diese Aequivalentzahlen bezeichnen aber nach dem von Dulong und Petit aufgestellten Gesetze für die meisten einfachen Stoffe oder chemischen Elemente zugleich die Gewichtsmengen, welche gleiche Zugaben oder Abzüge von Wärme erfordern, um ihre Temperatur um die gleiche Zahl von Graden zu erhöhen oder zu erniedrigen. Die specifische Wärme dieser Stoffe, zu denen namentlich die meisten Metalle gehören, steht also im umgekehrten Verhältnisse ihrer Atomgewichte. So ist die specifische Wärme des Zinns etwa halb so groß, als die des Eisens, das Atomgewicht des Zinns aber doppelt so groß, als das des Eisens. So ist ferner die specifische Wärme des Bleis nur $^1/_3$ so groß, als die des Kupfers, das Atomgewicht des Bleis aber reichlich 3mal so groß, als das des Kupfers. Dieses Gesetz, das übrigens nicht blos für eine Reihe von Elementen, sondern auch für deren Verbindungen nachgewiesen ist, deutet eine merkwürdige Uebereinstimmung zwischen der chemischen Verwandtschaft und dem Verhalten der Körper zur Wärme an. Chemisch äquivalente Mengen dieser Körper, kann man danach sagen, sind auch thermisch äquivalent, d. h. bedürfen zu gleich großer Temperaturerhöhung gleich großer Wärmemengen. Es ist nicht blos 3mal mehr Blei erforderlich als Kupfer, um die gleiche Menge einer Säure zu sättigen, sondern auch um die gleiche Ausdehnung, d. h. Wärme, in einer dritten Substanz, etwa Wasser, hervorzubringen. Dies spricht auf das Deutlichste für die Berechtigung jener Annahme, welche alle Erscheinungen in der Natur, also auch die Wärme, auf die Bewegung zurückführt. Die räthselhafte Verschiedenheit in dem Verhalten der verschiedenen Körper zur Wärme, das wir als Wärmecapacität bezeichneten, findet hier ihre Erklärung in derselben molekularen Constitution, aus welcher man auch ihr verschiedenes chemisches Verhalten ableiten muß. Das eine Mal wird durch sie die chemische An-

ziehung verschiedenartiger Atome, das andere Mal die abstoßende Bewegung gleichartiger Körpertheilchen bedingt.

Wechselbeziehungen zwischen Wärme und Licht.

Schon die innige Verbindung zwischen Wärme und Licht, die uns in den alltäglichsten Naturerscheinungen entgegentritt, läßt uns auch eine innere Beziehung zwischen beiden Kräften vermuthen. Diese Vermuthung wird aber zu einer zwingenden Gewißheit durch den Nachweis der gleichen Gesetze, denen strahlende Wärme und Licht unterworfen sind. Beide verbreiten sich in gerader Linie, beide werden in gleicher Weise von ebenen oder gekrümmten Flächen zurückgeworfen, beide werden abwechselnd durch Interferenz vernichtet oder verstärkt, beide werden gebrochen, wenn sie durch ein Mittel von verschiedener Dichtigkeit gehen, beide erleiden in gewissen Krystallen eine doppelte Brechung, beide werden polarisirt. Der ganze Unterschied zwischen Wärme und Licht scheint nur noch in der Art zu liegen, wie sie auf unsere Sinne wirken.

Wenn man für gewöhnlich sagt, daß die Wärme das Licht erzeuge, so hat das nur insofern Berechtigung, als ein Wechselverhältniß zwischen beiden Thätigkeiten besteht, als beide Umwandlungen derselben Kraft sind und daher auch in einander umgewandelt werden können. Daß aber Wärme und Licht keineswegs dasselbe sind, beweist schon die zuerst von Melloni nachgewiesene Verschiedenheit vieler Körper in ihrer Durchgängigkeit für die Wärme und für das Licht. So läßt der Alaun, ungeachtet er zu den durchsichtigsten Körpern gehört, weniger Wärme hindurch, als der Quarz, selbst wenn dieser bis zur Undurchsichtigkeit gefärbt ist. Melloni ist es sogar gelungen, Wärme und Licht völlig von einander zu trennen. Wenn man nämlich Sonnenlicht durch eine Wasserschicht gehen läßt, die sich zwischen grünen, mit Kupferoxyd gefärbten Glasplatten befindet, so werden die Wärmestrahlen so völlig verschluckt, daß die durch Linsengläser concentrirten durchgegangenen Lichtstrahlen auch nicht mehr die geringste Wirkung auf das empfindlichste Thermoskop ausüben. Dasselbe findet statt, wenn man Alaun mit grüngefärbtem Glase bedeckt. Das Entgegengesetzte tritt bei schwarzem Glase oder schwarzem Glimmer ein; es wird nur Wärme, kein Licht durchgelassen. Man kann Steinsalz, bekanntlich den diathermansten, d. h. für Wärme durchlässigsten aller Körper, mit Kienruß überziehen, so daß es völlig undurchsichtig wird, ohne doch die Fähigkeit zu verlieren, beträchtliche Mengen von Wärme durchzulassen.

Ein fernerer Beweis für die Verschiedenheit von Wärme und Licht ist die Verschiedenheit des Wärmespectrums vom Lichtspectrum. Das Steinsalz ist bekanntlich für die Wärme das, was das ungefärbte Glas für das Licht ist: es läßt die Wärmestrahlen in allen Abstufungen der Brechbarkeit hindurch. Der Alaun dagegen ist für die Wärme, was das rothe Glas für das Licht ist: er läßt die weniger brechbaren Strahlen durch und hält die mehr brechbaren zurück. Mit Kienruß geschwärztes Steinsalz entspricht etwa dem blauen Glase: es läßt die brechbareren Wärmestrahlen durch und hält die weniger brechbaren auf. Insofern haben die Erscheinungen der strahlenden Wärme große Aehnlichkeit mit denen des Lichts. Aber in dem Spectrum des Sonnenlichts, welches durch ein Steinsalzprisma erzeugt wird, nimmt die Wärme vom Violett bis zum Roth zu und wächst sogar noch in den dunkeln Raum hinein. Ferner zeigen verschiedene Körper, die sich gegen das Licht in völlig gleicher Weise verhalten, die größte Verschiedenheit in der Brechung der Wärmestrahlen. Papier, Schnee, Kalk, sämmtlich gleich weiß, also das Licht in allen Graden der Brechbarkeit brechend, lassen die Wärme nur bei gewissen Graden der Brechbarkeit durch. Umgekehrt sind die meisten Metalle gefärbte Körper, die das Licht nur bei gewissen Graden der Brechbarkeit durchlassen, während sie die Wärme in allen Graden der Brechbarkeit zerstreuen.

Wenn aber Wärme und Licht auch nicht völlig dasselbe sein können, so ist doch in allen diesen Erscheinungen eine gewisse Gleichartigkeit ihres Wesens unverkennbar, und wenn man das Licht auf schwingende Bewegungen zurückzuführen genöthigt gewesen ist, so wird man für die Wärme kaum eine andere Erklärung zulassen dürfen. Dann aber müssen auch Wechselbeziehungen zwischen Wärme und Licht bestehen, müssen nothwendig beide Kräfte in einander verwandelt werden können. Allerdings ist das Licht von allen Arten der Naturkraft noch immer diejenige, deren Wechselbeziehungen zu den andern am wenigsten klar bestimmt sind. Aber es fehlt doch auch nicht an Thatsachen, die das Vorhandensein dieser Wechselbeziehungen außer Zweifel setzen.

Abgesehen von der bekannten Thatsache, daß durch Steigerung der Wärmeintensität Licht erzeugt wird, giebt es besonders eine Erscheinung, die sich kaum anders als durch eine theilweise Verwandlung von Wärme in Licht erklären läßt. Es ist die Lichterzeugung, die bei der Einführung eines festen, unverbrennlichen Körpers in erhitztes Gas stattfindet. Man kann ein Gas bis zu einer sehr hohen Temperatur erhitzen, ohne daß es Licht, wenigstens in irgend erheb-

lichem Grade, hervorbringt. Führt man aber einen festen Stoff, etwa Platin oder, wie bei dem Drummond'schen Lichte, ein Stückchen Kalk in die Mitte des stark erhitzten Gases, so erglüht dieses augenblicklich oft in blendendem Lichte.

Noch augenscheinlicher als diese Verwandlung von Wärme in Licht tritt die umgekehrte Verwandlung von Licht in Wärme in den Erscheinungen hervor, die man gewöhnlich als Absorption oder Verschluckung des Lichts bezeichnet, da hier geradezu fast in demselben Verhältnisse, wie das Licht verschwindet, die Wärme entwickelt wird. Man kann sich davon durch einen sehr einfachen Versuch überzeugen, indem man Schnee, welcher den Sonnenstrahlen ausgesetzt ist, mit verschieden gefärbten Stoffen bedeckt. Man wird dann finden, daß ein schwarzer Stoff, welcher bekanntlich das meiste Licht verschluckt, auch die meiste Wärme entwickelt und daher am tiefsten in den Schnee einsinkt, ein rother Stoff nur leicht einsinkt, ein weißer Stoff ganz an der Oberfläche bleibt, daß überhaupt die verschiedenen Farbennüancen um so weniger einsinken, also um so weniger Wärme entwickeln, je geringere Mengen von Licht sie verschlucken oder verschwinden machen.

Einen schönen Beweis für die Umwandlung von Licht in Wärme liefert auch der folgende, zuerst von Knoblauch angestellte Versuch. Turmalinplatten haben bekanntlich die Eigenschaft, einen durchgehenden Lichtstrahl zu polarisiren und ihm daher in gewissen Stellungen den Durchgang zu gestatten, in andern zu verwehren. Bringt man zwei Turmalinplatten so hinter einander an, daß ihre Krystallaxen parallel mit einander sind, so geht der Lichtstrahl ungehindert durch beide Platten. Kreuzen sich aber die Axen beider Platten senkrecht, so wird der von der ersten Platte kommende polarisirte Lichtstrahl von der zweiten Platte nicht durchgelassen, sondern vollkommen verschluckt. In diesem letzteren Falle findet man aber mit Hülfe eines feinen Thermoskops die Temperatur der zweiten Platte bedeutend höher als im ersteren Falle. Das verschluckte Licht ist also auch hier nicht verschwunden, sondern in Wärme übergegangen.

Ueberhaupt läßt sich wohl annehmen, so lange das Licht Licht bleibt, wird keine Wärme entwickelt, mag das Licht im Uebrigen zurückgeworfen oder durch verschiedene Mittel hindurchgegangen sein, vorausgesetzt freilich, daß diese Mittel vollkommen durchsichtig sind. Ueberall aber, wo das Licht verschluckt wird, tritt die Wärme an seine Stelle. Das Licht wird niemals wirklich zerstört, sondern verändert nur seinen Charakter, wird in Wärme verwandelt oder, wie wir weiter

sehen werden, sei es unmittelbar, sei es mittelbar durch die Wärme, in andere sogenannte physikalische Kräfte, in Elektricität oder chemische Kraft. Alle diese Kräfte ist man genöthigt gewesen, als verschiedene Formen der Bewegung aufzufassen; aber nur für eine oder zwei von ihnen, für das Licht und etwa noch für die strahlende Wärme, hat man sich gemüßigt gefunden, einen besonderen Träger der Bewegung, einen unmateriellen, den Gesetzen der Schwere nicht unterworfenen Aether anzunehmen. An und für sich ist es schon schwer begreiflich, daß von diesen Kräften, deren jede doch fähig ist, die andere hervorzubringen und durch diese hervorgebracht zu werden, die einen Theilchenbewegungen der gewöhnlichen Materie, die anderen Wirkungen der Schwingungen eines Aethers sein sollen. Aber es giebt auch auf dem Gebiete der Lichterscheinungen selbst Thatsachen, die auch für das Licht Schwingungen der gewöhnlichen Materie unwiderleglich machen.

Eine dieser Thatsachen, die mindestens eine zeitweise Theilnahme der materiellen Körpertheilchen an den Aetherschwingungen anzunehmen zwingen, ist die Phosphorescenz. Das Nachleuchten eines Körpers nach dem Erlöschen der Lichtquelle, deren Strahlen er ausgesetzt gewesen ist, wäre gar nicht zu erklären ohne die Annahme, daß die Materie dieses Körpers in einen Zustand der Schwingung versetzt, oder daß sie wenigstens durch die Thätigkeit des Lichts verändert ist. Sollte aber, wie es jetzt allen Anschein hat, die Phosphorescenz sich als eine allgemeine Eigenschaft aller Körper erweisen, nur mit einer großen Verschiedenheit in der Dauer, die bisweilen so kurz ist, daß unser Auge sie nicht mehr zu messen vermag, so wäre das ein entscheidender Beweis, daß auch das Licht nur in Schwingungen der gewöhnlichen Materie bestehe.

Eine andere Thatsache von derselben Bedeutung ist die Abhängigkeit des Lichts von der Natur nicht blos des Körpers, von welchem es ausgeht, sondern auch desjenigen, von welchem es empfangen wird, oder auf welchen es fällt. Gewöhnlich lassen wir die Empfindung unseres Auges darüber entscheiden, was Licht und was nicht Licht ist. Daß aber unser Auge für ein solches Urtheil nicht ausreicht, beweisen die Erscheinungen der Fluorescenz. Wir haben erfahren, daß es Strahlen giebt, welche durchaus keinen Lichteindruck auf das Auge machen, wenn sie auf gewisse Körper fallen, etwa auf Papier oder eine getünchte Wand, die aber leuchtend werden, wenn sie auf andere Substanzen treffen, etwa auf ein mit Uranoxyd gefärbtes Glas oder ein mit einer Lösung von schwefelsaurem Chinin getränktes Papier. Man könnte sich zwei

Zimmer denken, deren Wände mit solchen verschiedenen Stoffen bekleidet wären, die im gewöhnlichen Tageslichte gleich weiß erschienen, von denen aber, wenn man nur jene sogenannten fluorescirenden Strahlen hineinließe, das eine von denselben Strahlen völlig dunkel gelassen, das andere erhellt werden würde. Wir wissen ferner, daß die Art der Lichtquelle selbst von Einfluß auf die Lichtempfindung unseres Auges ist, daß eine mit schwefelsaurem Chinin auf weißem Papiere gemachte Zeichnung im gewöhnlichen Lichte unsichtbar bleibt, während sie, von elektrischem Lichte beleuchtet, im herrlichsten Blau erglänzt. Was also Licht ist, wenn es auf den einen Körper fällt, ist nicht Licht, wenn es auf den anderen fällt. Der Gedanke liegt zu nahe, als daß man ihn nicht aussprechen sollte, daß auch die Netzhäute verschiedener Menschen in ähnlicher Weise von einander abweichen mögen, so daß dieselbe Substanz, erhellt durch dasselbe Spectrum, verschiedenen Individuen einen verschiedenen Anblick gewähren, dem Einen als Licht erscheinen kann, was für den Anderen Finsterniß ist.

Auch bei der Wärme ist eine ähnliche Abhängigkeit von der Substanz bemerkbar, von welcher sie empfangen wird. Wenn man zwei Gefäße, von denen das eine reines, das andere mit irgend einem Farbstoffe gefärbtes Wasser enthält, aufhängt und der Sonnenwärme aussetzt, so wird man sehr bald einen erheblichen Unterschied in der Temperatur der beiden Gefäße wahrnehmen. Die gefärbte Flüssigkeit wird sich viel wärmer zeigen, als die durchsichtige. Gleichwohl waren beide Gefäße demselben Sonnenstrahle ausgesetzt, zur gleichen Zeit und im gleichen Abstande von der Wärmequelle. Man kann in dieser Weise durch die Wahl des Glases, woraus man das Dach eines Treibhauses bildet, die Temperatur desselben sehr erheblichen Veränderungen unterwerfen.

Zu diesem Abhängigkeitsverhältnisse zwischen Wärme und Licht und der Natur der Körper, der erleuchteten und erwärmten, wie der leuchtenden und wärmenden, kommt noch eine weitere Abhängigkeit von der inneren Structur der Körper, von der Anordnung ihrer kleinsten Theilchen. Schon die Durchsichtigkeit und Undurchsichtigkeit eines Körpers scheint durchaus von seinem inneren Baue abzuhängen. Das durchsichtigste Glas wird undurchsichtig, wenn man es schmilzt und dann langsam erkalten läßt. Die Erscheinungen der Polarisation und doppelten Brechung beweisen, daß die Wirkungen des Lichts die innerste Natur der von ihm erregten Materie offenbaren können, daß die Ver-

änderungen, welche ein Lichtstrahl durch den kleinsten Splitter eines Körpers erleidet, über die Krystallform dieses Körpers zu entscheiden vermögen. Ein Stückchen Glas, das in einem Polarisationsapparate nicht die geringste Wirkung verräth, vermag, erwärmt und plötzlich erkaltet oder kräftig zusammengepreßt, die herrlichsten Farbenerscheinungen darzubieten.

Alle diese Thatsachen, zu denen wir noch die chemische, also tief in das innere stoffliche Wesen der Dinge eingreifende Wirkung des Lichts kommen sehen werden, sind wohl geeignet, zu der Annahme zu drängen, daß eine Verbindung zwischen dem Lichte und der Bewegung der gewöhnlichen Materie bestehe, und daß die Eindrücke, durch welche unsere Sinne uns die Anwesenheit des Lichtes kund thun, aus den in der Materie selbst hervorgebrachten Veränderungen hervorgehen. Daß mit einer solchen Wechselbeziehung aber die Annahme eines Aethers nicht bestehen kann, ist einleuchtend. Was hauptsächlich zur Annahme eines Aethers, d. h. einer schwerlosen, Alles durchdringenden Materie, führte, war die Schwierigkeit, die Fortpflanzung von Wärme und Licht durch die als absolut leer geltenden Räume zwischen den Weltkörpern zu erklären. Es ist aber sehr fraglich, ob die Annahme eines solchen leeren Raumes wirklich eine Nothwendigkeit ist, und ob man sich nicht den Weltraum von der gewöhnlichen Materie, nur in sehr verdünntem Zustande, erfüllt denken muß, ähnlich dem, was wir, künstlich durch die Luftpumpe hergestellt, oder in der Torricelli'schen Leere als leeren Raum bezeichnen, und was doch immer von nachweislicher verdünnter Materie erfüllt ist. Mit der Lehre von der Verwandlung der Kräfte wird sich der Aether nicht lange mehr vertragen können, und man wird sich genöthigt sehen, Licht und Wärme ebenso auf die Bewegung materieller Theilchen zurückzuführen, wie die anderen physikalischen Kräfte.

Verwandlung der Wärme in Elektricität und Magnetismus.

Schon die merkwürdige Uebereinstimmung in der Leitungsfähigkeit der verschiedenen Metalle für die Wärme und die Elektricität, die unwiderlegliche Thatsache, daß diejenigen Körper, welche die Wärme gut leiten, auch gute Leiter der Elektricität sind, diejenigen Körper, welche die Wärme schlecht leiten, auch schlechte Leiter der Elektricität sind, deutet auf eine gewisse Gemeinsamkeit dieser beiden Bewegungs-

Zimmer denken, deren Wände mit solchen verschiedenen Stoffen bekleidet wären, die im gewöhnlichen Tageslichte gleich weiß erschienen, von denen aber, wenn man nur jene sogenannten fluorescirenden Strahlen hineinließe, das eine von denselben Strahlen völlig dunkel gelassen, das andere erhellt werden würde. Wir wissen ferner, daß die Art der Lichtquelle selbst von Einfluß auf die Lichtempfindung unseres Auges ist, daß eine mit schwefelsaurem Chinin auf weißem Papiere gemachte Zeichnung im gewöhnlichen Lichte unsichtbar bleibt, während sie, von elektrischem Lichte beleuchtet, im herrlichsten Blau erglänzt. Was also Licht ist, wenn es auf den einen Körper fällt, ist nicht Licht, wenn es auf den anderen fällt. Der Gedanke liegt zu nahe, als daß man ihn nicht aussprechen sollte, daß auch die Netzhäute verschiedener Menschen in ähnlicher Weise von einander abweichen mögen, so daß dieselbe Substanz, erhellt durch dasselbe Spectrum, verschiedenen Individuen einen verschiedenen Anblick gewähren, dem Einen als Licht erscheinen kann, was für den Anderen Finsterniß ist.

Auch bei der Wärme ist eine ähnliche Abhängigkeit von der Substanz bemerkbar, von welcher sie empfangen wird. Wenn man zwei Gefäße, von denen das eine reines, das andere mit irgend einem Farbstoffe gefärbtes Wasser enthält, aufhängt und der Sonnenwärme aussetzt, so wird man sehr bald einen erheblichen Unterschied in der Temperatur der beiden Gefäße wahrnehmen. Die gefärbte Flüssigkeit wird sich viel wärmer zeigen, als die durchsichtige. Gleichwohl waren beide Gefäße demselben Sonnenstrahle ausgesetzt, zur gleichen Zeit und im gleichen Abstande von der Wärmequelle. Man kann in dieser Weise durch die Wahl des Glases, woraus man das Dach eines Treibhauses bildet, die Temperatur desselben sehr erheblichen Veränderungen unterwerfen.

Zu diesem Abhängigkeitsverhältnisse zwischen Wärme und Licht und der Natur der Körper, der erleuchteten und erwärmten, wie der leuchtenden und wärmenden, kommt noch eine weitere Abhängigkeit von der inneren Structur der Körper, von der Anordnung ihrer kleinsten Theilchen. Schon die Durchsichtigkeit und Undurchsichtigkeit eines Körpers scheint durchaus von seinem inneren Baue abzuhängen. Das durchsichtigste Glas wird undurchsichtig, wenn man es schmilzt und dann langsam erkalten läßt. Die Erscheinungen der Polarisation und doppelten Brechung beweisen, daß die Wirkungen des Lichts die innerste Natur der von ihm erregten Materie offenbaren können, daß die Ver-

änderungen, welche ein Lichtstrahl durch den kleinsten Splitter eines Körpers erleidet, über die Krystallform dieses Körpers zu entscheiden vermögen. Ein Stückchen Glas, das in einem Polarisationsapparate nicht die geringste Wirkung verräth, vermag, erwärmt und plötzlich erkaltet oder kräftig zusammengepreßt, die herrlichsten Farbenerscheinungen darzubieten.

Alle diese Thatsachen, zu denen wir noch die chemische, also tief in das innere stoffliche Wesen der Dinge eingreifende Wirkung des Lichts kommen sehen werden, sind wohl geeignet, zu der Annahme zu drängen, daß eine Verbindung zwischen dem Lichte und der Bewegung der gewöhnlichen Materie bestehe, und daß die Eindrücke, durch welche unsere Sinne uns die Anwesenheit des Lichtes kund thun, aus den in der Materie selbst hervorgebrachten Veränderungen hervorgehen. Daß mit einer solchen Wechselbeziehung aber die Annahme eines Aethers nicht bestehen kann, ist einleuchtend. Was hauptsächlich zur Annahme eines Aethers, d. h. einer schwerlosen, Alles durchdringenden Materie, führte, war die Schwierigkeit, die Fortpflanzung von Wärme und Licht durch die als absolut leer geltenden Räume zwischen den Weltkörpern zu erklären. Es ist aber sehr fraglich, ob die Annahme eines solchen leeren Raumes wirklich eine Nothwendigkeit ist, und ob man sich nicht den Weltraum von der gewöhnlichen Materie, nur in sehr verdünntem Zustande, erfüllt denken muß, ähnlich dem, was wir, künstlich durch die Luftpumpe hergestellt, oder in der Torricelli'schen Leere als leeren Raum bezeichnen, und was doch immer von nachweislicher verdünnter Materie erfüllt ist. Mit der Lehre von der Verwandlung der Kräfte wird sich der Aether nicht lange mehr vertragen können, und man wird sich genöthigt sehen, Licht und Wärme ebenso auf die Bewegung materieller Theilchen zurückzuführen, wie die anderen physikalischen Kräfte.

Verwandlung der Wärme in Elektricität und Magnetismus.

Schon die merkwürdige Uebereinstimmung in der Leitungsfähigkeit der verschiedenen Metalle für die Wärme und die Elektricität, die unwiderlegliche Thatsache, daß diejenigen Körper, welche die Wärme gut leiten, auch gute Leiter der Elektricität sind, diejenigen Körper, welche die Wärme schlecht leiten, auch schlechte Leiter der Elektricität sind, deutet auf eine gewisse Gemeinsamkeit dieser beiden Bewegungs-

arten hin. Diese Gemeinsamkeit ist aber außer Zweifel gestellt worden durch die Thatsache einer unmittelbaren Verwandlung der Wärme in Elektricität, wie sie uns in den von Seebeck im J. 1821 entdeckten sogenannten thermo-elektrischen Strömen entgegentritt.

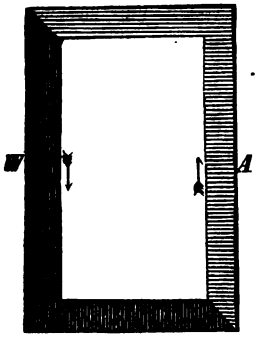
Wenn man das eine Ende eines kupfernen Multiplicatordrahtes bis zum Rothglühen erhitzt und dann mit dem anderen Ende in Berührung bringt, so erleidet die Magnetnadel eine Ablenkung. Noch stärker wird diese Ablenkung, wenn man zwei Drähte eines anderen Metalls mit den beiden Enden des Multiplicatordrahtes verbindet, dann den einen Draht erhitzt und mit dem anderen in Berührung bringt. Die kräftigsten Wirkungen aber erhält man, wenn man zwei Drähte oder Stäbe von verschiedenen Metallen zusammenlöthet und dann die Löthstelle erwärmt. Auch bei einer starken Erkältung der Löthstelle tritt eine Ablenkung der Magnetnadel ein, nur nach der entgegengesetzten Richtung, wie bei der Erwärmung.

In allen diesen Fällen kreist also ein elektrischer Strom durch die Metalle, und dieser ist es, der die Ablenkung der Magnetnadel bewirkt. Die Richtung dieses Stromes aber, sowie seine Stärke, ist von der Natur der angewendeten Metalle abhängig. Man kann die Metalle geradezu in eine thermoelektrische Reihe ordnen, in welcher jedes Glied in Verbindung mit einem anderen einen um so kräftigeren Strom erzeugt, je weiter es von demselben in dieser Reihe absteht. Den stärksten thermoelektrischen Strom geben unter sonst gleichen Umständen Antimon und Wismuth. Dazwischen stehen nach ihrem thermoelektrischen Werthe geordnet: Eisen, Zink, Gold, Kupfer, Messing, Blei, Zinn, Silber, Platin, Nickel, Quecksilber.

Aus je zwei solchen Metallen kann man eine thermoelektrische Kette bilden, und zwar am einfachsten, wenn man einen Wismuthstab und einen Antimonstab rechtwinklig umbiegt und sie dann an ihren beiden Enden zu einem Rechtecke zusammenlöthet (Fig. 161). Erwärmt man dann eine der Löthstellen, so wird eine empfindliche Magnetnadel, welcher man eine Seite dieses Rechtecks nähert, abgelenkt, und diese Ablenkung nimmt zu, so lange die Temperatur der Löthstelle zunimmt, und hört erst auf, wenn die Löthstelle zu derselben Temperatur herabgesunken ist, welche die entgegengesetzte Löthstelle besitzt. Der elektrische Strom geht dabei stets an der wärmeren Löthstelle vom Wismuth zum Antimon, an der kälteren vom Antimon zum Wismuth und ist um so stärker, je größer die Temperaturdifferenz beider Löthstellen ist. Einige Metalle zeigen indeß bei sehr hohen Temperaturen

ein etwas abweichendes Verhalten. Der elektrische Strom hört nämlich bei einer gewissen Höhe der Temperatur auf zu wachsen, nimmt dann sogar allmälig ab und schlägt endlich bei fortgesetzter Erwärmung in den entgegengesetzten Strom um. Es erinnert dies Verhalten an das gewisser krystallisirter Mineralien, namentlich des Turmalins, der auch bei der Erwärmung entgegengesetzt elektrisch wird. Ueberhaupt sind ja die Metalle es nicht allein, in welchen solche thermoelektrische Ströme hervorgerufen werden können; nur ist zur Bildung wirksamer Ströme ein gutes Leitungsvermögen erforderlich, das der Turmalin bekanntlich so wenig, wie die meisten Mineralien, besitzt. Auch bedarf es keineswegs durchaus zweier verschiedener Metalle; schon eine einfache Metallstange ist im Stande, an einer Stelle erwärmt, die Ablenkung der Magnetnadel zu bewirken. Schon diese Thatsache läßt keinen Zweifel übrig, daß es sich bei diesen Erscheinungen um nichts Anderes, als um eine Verwandlung der Wärme in Elektricität handelt. Aber auch der leiseste Zweifel ist durch die Entdeckung Peltier's und Anderer beseitigt worden, daß auch umgekehrt eine Verwandlung der Elektricität in Wärme an der Löthstelle zweier verschiedenartiger Metalle stattfindet, wenn man einen elektrischen Strom hindurchleitet. Peltier löthete zu diesem Zwecke einen Wismuthstab und einen Antimonstab in Form eines Kreuzes auf einander und verband dann das eine Wismuthende mit dem einen, das eine Antimonende mit dem anderen Pole eines Volta'schen Elements. Die Erwärmung der Löthstelle trat ein, wenn der positive Strom vom Antimon zum Wismuth ging, während bei entgegengesetzt circulirendem Strome sich eine Erkaltung der Löthstelle bemerklich machte. Lenz gelang es sogar in einem Loche, das er an der Löthstelle anbrachte und mit Wasser füllte, auf schmelzendem Schnee durch den elektrischen Strom das Wasser an der Löthstelle zum Gefrieren zu bringen und seine Temperatur auf $-3^1/_2{}^0$ zu erniedrigen.

Fig. 161.



Diese thermoelektrischen Ströme sind immer nur sehr schwach und können einen großen Widerstand nicht überwinden. Der Multiplicator, den man in den Schließungsbogen einer solchen Kette einschaltet,

um ihre Wirkungen zu messen, darf daher nur aus wenigen Windungen eines etwas starken Drahtes gebildet sein. Man kann indeß die Wirkungen bedeutend verstärken, wenn man mehrere thermoelektrische Elemente zu einer thermoelektrischen Säule vereinigt. Da solche Säulen sich besonders durch große Empfindlichkeit auszeichnen und die geringsten Temperaturdifferenzen der Löthstellen durch eine Ablenkung der Magnetnadel in dem eingeschalteten Multiplicator anzeigen, so bedient man sich ihrer vorzugsweise zur Messung geringer Wärmemengen. Einer der empfindlichsten dieser Apparate, die man auch Thermomultiplicatoren genannt hat, ist der von Nobili angegebene. Er ist aus 25 bis 30 feinen Stäbchen von Wismuth und Antimon zusammengesetzt, welche so zusammengelöthet sind, daß die eine Hälfte der Löthstellen auf der einen, die andere Hälfte auf der anderen Seite sich befindet. Das ganze Bündel dieser Stäbchen bildet eine compacte Masse, da die Zwischenräume durch eine isolirende Substanz, etwa Gyps, ausgefüllt sind, und ist von einer isolirten metallenen Fassung

Fig. 162.

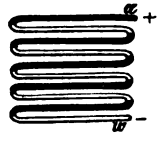
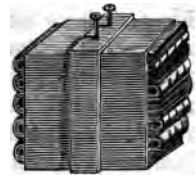


Fig. 163.



umgeben. An das Wismuthstäbchen des ersten Paares und an das Antimonstäbchen des letzten sind Drähte angelöthet, welche mit den Multiplicatordrähten verbunden werden können. Die Empfindlichkeit dieser Säule ist so groß, daß schon die Wärme, welche eine mehrere Fuß entfernte menschliche Hand ausstrahlt, von ihr empfunden und sofort durch Ablenkung der Multiplicatornadel angezeigt wird.

Diese thermoelektrische Säule ist aber neuerdings durch eine andere weit übertroffen worden, welche mit Recht bereits die Aufmerksamkeit der gelehrten Welt in hohem Grade erregt hat. Der Erfinder, Namens Marcus, benutzt für seine Säule zwei besondere Metallegirungen. Das positive Metall besteht aus 10 Theilen Kupfer, 6 Th. Zink und 6 Th. Nickel, das negative aus 12 Th. Antimon, 5 Th.

Zink und 1 Th. Wismuth. Die erstere Legirung schmilzt bei 1200° C., die letztere bei 600°. Das erstere Metall wird in einem Ofen erhitzt, das letztere durch kaltes Wasser oder Schnee abgekühlt. Je größer der Temperaturunterschied beider Metalle ist, um so stärker ist natürlich der entstehende Strom. Marcus hat eine Säule von 768 solchen Elementen construirt, die eine Bunsen'sche Kohlen-Zink-Batterie von 30 Elementen ersetzt, und mit deren Hülfe man alle gewöhnlichen Wirkungen des elektrischen Stromes hervorrufen, kräftige Elektromagnete erzeugen, Metalle schmelzen, Wasser zersetzen kann. Besonders interessant aber ist eine Beobachtung, die dabei gemacht worden ist, und die in überraschender Weise mit der mechanischen Wärmetheorie und der Lehre von der Verwandlung der Kräfte übereinstimmt. So lange nämlich die Pole dieser Säule durch einen Leitungsdraht verbunden sind, so lange also ein elektrischer Strom vorhanden ist, wird das Kühlwasser, durch welches das eine Metall erkältet wird, nur ganz unmerklich erwärmt. Sobald man aber die Leitung und somit den Strom unterbricht, erwärmt sich das Wasser bedeutend. Unmöglich kann man sich hier wohl der Schlußfolgerung entziehen, daß in dem ersteren Falle der größte Theil der Wärme, welche das eine Metall empfängt, in Elektricität verwandelt wird, und daß erst, wenn sich wegen mangelnder Leitung ein elektrischer Strom nicht mehr bilden kann, die dem Metalle mitgetheilte Wärme bis zum Wasser fortgeleitet wird, um dieses zu erwärmen.

Die Wirkungen der thermoelektrischen Säule sowohl, als die Eigenschaft des Turmalins und einiger anderen Krystalle, namentlich auch des Zuckers, bei der Erwärmung elektrisch zu werden und an den beiden Enden ihrer Hauptaxe zwei entgegengesetzte elektrische Pole zu zeigen, stellen es außer Zweifel, daß Wärme in Elektricität übergehen kann. Bei der innigen Verbindung, die zwischen Elektricität und Magnetismus besteht, kann es darum auch an Wechselwirkungen zwischen Wärme und Magnetismus nicht fehlen. Einen Beweis dafür haben wir bereits in der Thatsache kennen gelernt, daß ein natürlicher Magnet sowohl, wie ein künstlicher, seinen Magnetismus allmälig verliert, wenn man ihn erhitzt, und zwar in demselben Maße, als die Temperatur steigt, vollständig aber, so daß er sich gegen Eisen wie gegen andere Magnete völlig gleichgültig verhält, in der hellen Rothglühhitze. Interessant ist aber auch die Beobachtung, daß auch weiches Eisen weißglühend vom Magneten nicht mehr angezogen wird. Es giebt also bei dem Eisen eine Temperaturgrenze, über welche hinaus

es für den Einfluß des Magnetismus durchaus unempfänglich ist. Darnach läßt sich erwarten, daß es auch für andere Körper eine solche magnetische Grenze geben werde, und in der That ist dies durch Versuche bestätigt worden. Beim Kobalt liegt diese Grenze noch weit jenseit der Weißglühhitze; beim Chrom liegt sie etwas unterhalb der Temperatur des Dunkelrothglühens, beim Nickel ungefähr bei 350°, beim Braunstein sogar schon bei 20—25° C. In dieser Abhängigkeit der magnetischen Kraft von der Wärme liegt wohl auch der Hauptgrund der Thatsache, daß so wenige Körper unter gewöhnlichen Verhältnissen die Eigenschaft des Magnetismus zeigen.

Weniger nachweisbar als für die Wärme ist diese Umwandlung in Elektricität und Magnetismus für das Licht, obwohl sie schon um der chemischen Wirkung des Lichtes willen. kaum zu bezweifeln ist. Jedenfalls sind die Versuche von Morechini und Andern, welche eine unmittelbare Erzeugung von Magnetismus durch Licht beweisen sollen, noch sehr ernsten Zweifeln unterworfen. Nach diesen Versuchen sollen nämlich die violetten Strahlen und überhaupt die dem violetten Ende des Spectrums nahe liegenden Strahlen im Stande sein, Stahlnadeln magnetisch zu machen, welche zur Hälfte der Einwirkung dieser Strahlen ausgesetzt werden. Selbst die blauen und grünen Strahlen sollen diese Wirkung, wenn auch in geringerem Grade, hervorbringen, und es sollen Nadeln, die halbbedeckt unter ein blau- oder grüngefärbtes Glas gelegt oder auch nur zur Hälfte mit einem blauen oder grünen Bande umwickelt und dann der Einwirkung des Sonnenlichts ausgesetzt werden, magnetische Eigenschaften erhalten. Namhafte Physiker, wie Rieß und Moser, stellen eine solche magnetische Wirkung des Lichtes durchaus in Abrede, und wir können daher einstweilen nur solche magnetische Wirkungen gelten lassen, welche das Licht durch Vermittelung der Wärme oder der chemischen Kraft hervorbringt.

Die chemischen Wirkungen der Wärme.

Schon in der Umwandlung der Wärme in Elektricität liegt eine reiche Quelle der Einwirkung auf die chemische Verwandtschaft der Stoffe, auf die Entstehung und Auflösung der chemischen Verbindungen. Aber auch unmittelbar übt die Wärme einen Einfluß auf das chemische Verhalten der Stoffe, welcher die größte Aufmerksamkeit des Chemikers erfordert und ihm vielleicht die kräftigsten Mittel zur Verbindung oder Trennung der Stoffe gewährt. Die ausdehnende Kraft

der Wärme genügt, eine Menge dieser Erscheinungen zu erklären. Die Theilchen eines Körpers erhalten dadurch eine größere Beweglichkeit und werden dadurch veranlaßt, sich von einander zu trennen, zumal wenn sie an und für sich ein ungleiches Ausdehnungsvermögen besitzen. So wird in der erhitzten Kreide die luftförmige Kohlensäure von dem festen Kalke getrennt. So wird der Zinnober in der Glühhitze durch das Eisen zerlegt, da das Streben des Quecksilbers, Luftform anzunehmen, die Verwandtschaft zum Schwefel lockert und diesem Gelegenheit giebt, sich mit dem Eisen zu verbinden. Nicht minder häufig als solche Zersetzungen werden chemische Verbindungen durch die Wärme angeregt. Blei, unter Zutritt der Luft längere Zeit geglüht, verwandelt sich in ein gelbes Pulver, das man Bleioxyd oder Bleiglätte nennt. Das metallische Kupfer wird in der Hitze durch Aufnahme von Sauerstoff aus der Luft zu einer spröden, schwarzen Masse. Die Kohle, bei gewöhnlicher Temperatur einer der unveränderlichsten Körper, vereinigt sich bei einem gewissen Hitzegrade ebenfalls mit dem Sauerstoffe der Luft und bildet die luftförmige Kohlensäure. Selbst Gase werden durch Wärme vielfach angeregt, sich mit einander zu verbinden, wie die Vereinigung des Wasserstoffs mit dem Sauerstoffe bei jeder Flamme lehrt. Alle Verbrennung, alle Verwesung und Fäulniß beruht auf solchen Zersetzungen und Verbindungen, welche durch die Wärme eingeleitet und in ihrem Fortgange bedingt werden.

Eine Erklärung dieser chemischen Wirkungen der Wärme in völlig befriedigender Weise zu geben, ist die Wissenschaft für jetzt noch nicht im Stande. Dazu kennt man die Bewegung, welche der chemischen Anziehung zu Grunde liegt, noch zu wenig. Kann man auch im Allgemeinen annehmen, daß die Bewegung der Wärme der chemischen Anziehung der Körpertheilchen entgegenwirkt, schon weil sie die Theilchen von einander entfernt, so widerspricht dem doch wieder die Thatsache, daß die Wärme auch Verbindungen bewirkt, also die chemische Verwandtschaft verstärkt oder wenigstens anregt. Aber noch verwirrender erscheint der Umstand, daß eine Temperaturerhöhung einmal die chemische Verbindung gewisser Stoffe, ein andermal die Zerlegung derselben mit einander verbundenen Stoffe bewirken kann. Wird ein Gemisch von Sauerstoff und Wasserstoff einer Temperatur von etwa 430° ausgesetzt, so verbinden sich beide Gase mit einander und bilden Wasser. Wenn man aber glühenden, also etwa auf 1300 Grad erhitzten Platindraht in Wasser taucht, so wird das Wasser in seine Bestandtheile, Wasserstoff und Sauerstoff, zersetzt.

Ohne darum die Beziehungen der Wärme zur chemischen Verwandtschaft näher erklären zu können, müssen wir sie doch als thatsächlich bestehend annehmen, um so mehr, als sie schon in dem erwähnten Verhältnisse der specifischen Wärme zu den chemischen Atomgewichten der Elemente eine sehr bedeutsame Bestätigung erhielten. Für den Chemiker bleibt die Wärme eine der wirksamsten Kräfte, wo es gilt, Elemente zu verbinden oder Verbindungen aufzulösen. Man kann sogar dreist behaupten, daß es für jede Verbindung einen Wärmegrad giebt, bei welchem sie zersetzt wird, und daß durch eine hinreichend große Wärme es wohl gelingen könne, gegenwärtig für einfach gehaltene Stoffe in ihre Bestandtheile zu zerlegen. Man kann ebenso mit Bestimmtheit behaupten, daß Stoffe, die sich jetzt bei Temperaturen, wie wir sie erzeugen können, nicht verbinden, eine Vereinigung eingehen werden, wenn sie hinreichend niedrigen Temperaturen bei gleichzeitiger Anwendung starken Druckes ausgesetzt werden.

Die chemischen Wirkungen des Lichts und die Photographie.

Das Licht ist vielleicht diejenige physikalische Kraft, deren Wechselbeziehungen zu den anderen Kräften am längsten geahnt, am spätesten aber wissenschaftlich begründet worden sind. Von jeher galt das Licht als eine der unentbehrlichsten Lebensbedingungen für Thiere und Pflanzen. Aber erst der Wissenschaft der Neuzeit war es vorbehalten, nachzuweisen, daß die Pflanze nur unter dem Einflusse des Sonnenlichts die Fähigkeit empfängt, die aus Luft und Boden aufgenommenen Nahrungsmittel in Theile ihrer selbst zu verwandeln, daß nur am Lichte die Kohlensäure, das Wasser, das Ammoniak in der Pflanze zersetzt, nur am Lichte der Kohlenstoff und die Kohlenwasserstoffverbindungen in der Pflanze abgelagert werden, womit wir unsere Zimmer erleuchten. Man hat es ebenso längst gewußt, daß auch das thierische Leben durch den Einfluß des Lichts bedingt ist, daß nicht blos äußerlich die Haut des Menschen im Lichte sich bräunt, seine Wange sich röthet, sondern daß auch die Lebhaftigkeit seines Stoffwechsels, daß die Reizbarkeit seiner Muskeln und Nerven mit dem Lichte, in dem er athmet, in engster Verbindung steht. Man hat sogar längst von dem chemischen Einflusse des Lichtes auf pflanzliche Stoffe eine praktische Anwendung gemacht im Bleichen der Pflanzenfaser. Denn es ist ein chemischer Vorgang, der, durch das Licht angeregt, den Farbstoff zer-

stört oder umwandelt, eine Oxydation oder Sauerstoffaufnahme des meist aus Kohlenstoff und Wasserstoff bestehenden Farbstoffes. Die zahlreichsten solcher chemischen Veränderungen der Stoffe durch den unmittelbaren Einfluß des Lichtes hat freilich erst die heutige Chemie kennen gelehrt, und aus der praktischen Benutzung dieser ist eine Erfindung hervorgegangen, die zu den glänzendsten unserer erfindungsreichen Zeit gehört.

Ganz besonders sind es einzelne Stoffe, die sich durch ihre Empfindlichkeit gegen das Licht auszeichnen und sich dadurch in auffallender Weise in ihrer Zu- oder Abneigung gegen andere Stoffe bestimmen lassen. Chlorgas, im Dunkeln mit Wasserstoffgas gemischt, verbindet sich wenigstens bei gewöhnlicher Temperatur nicht mit demselben. Gestattet man dem Tageslichte Zutritt, so geht die Verbindung allmälig vor sich; läßt man das volle Sonnenlicht plötzlich darauf fallen, so erfolgt sie im Augenblicke unter heftiger Explosion. Mit Chlorgas gesättigtes Wasser bleibt im Dunkeln unverändert; am Lichte entzieht das Chlor dem Wasser den Wasserstoff und verbindet sich mit demselben zu Salzsäure, während der Sauerstoff frei wird. Chlorsilber, von Natur weiß, färbt sich am Lichte, besonders am Sonnenlichte, erst violett, dann schwarz; es ist wieder die Folge einer Zersetzung, indem das Chlor entweicht und das Silber metallisch in fein zertheiltem Zustande zurückbleibt. Ueberhaupt zeigen die meisten Silbersalze eine große Empfindlichkeit gegen das Licht. Auch Bleiverbindungen verändern sich vielfach unter den Einwirkungen des Lichts. Braunes Bleisuperoxyd wird, indem ein Theil seines Sauerstoffes ausscheidet, zu Mennige. Braunes Schwefelblei verwandelt sich im Sonnenlichte in weißes schwefelsaures Bleioxyd. Goldoxyd wird durch das Licht in Sauerstoff und metallisches Gold zerlegt. Phosphor, im Wasser aufbewahrt, verwandelt sich im Sonnenlichte in rothes Phosphoroxyd. Rauchende Salpetersäure verliert schon in gewöhnlicher Temperatur am Lichte einen Theil ihres Sauerstoffs und verwandelt sich dadurch theilweise in Untersalpetersäure, was schon durch die dunkelbraune Färbung angedeutet wird. Solcher gegen die Einwirkungen des Lichts empfindlicher Stoffe ließen sich noch zahlreiche anführen, besonders aus dem Gebiete der so überaus veränderlichen organischen Stoffe. Alle diese Stoffe aber kommen wesentlich darin überein, daß die chemische Anziehung zwischen ihren Bestandtheilen eine sehr schwache ist. Daß die Erschütterungen des Lichts bereits im Stande sind, diese

lockere Verbindung der Theile aufzuheben, bietet uns die Erklärung ihrer Veränderungen unter dem Einflusse des Lichts.

Auf die Lichtempfindlichkeit solcher Stoffe gründeten bereits im Anfange unseres Jahrhunderts zwei der berühmtesten Gelehrten, Davy und Wedgwood, Versuche, die flüchtigen Bilder, welche das Licht auf spiegelnde Flächen zaubert, festzuhalten. Diese Versuche scheiterten jedoch, weil es zwar gelang, auf Papier, das mit salpetersaurem Silberoxyd oder mit Chlorsilber getränkt war, Lichtbilder zu erzeugen, weil man aber nicht im Stande war, die Umgebung dieser Bilder vor der nachfolgenden gleichen Einwirkung des Lichts zu schützen. Die Lösung der großen Aufgabe, die flüchtigen Spiegelbilder dauernd zu fesseln, war zwei Ungelehrten aufbehalten, dem Gutsbesitzer Niepce und dem Maler Daguerre.

Schon seit dem J. 1814 beschäftigte sich Joseph Niepce, ein denkender Gutsbesitzer in der Gegend von Chalons sur Saone, mit Versuchen, Kupferstiche durch das Licht zu vervielfältigen. Zwei einfache Thatsachen, die eine jedem Maler, die andere jedem Chemiker längst bekannt, waren die geheimen Keime seiner wunderbaren Entdeckung. Die erste dieser Thatsachen ist die Eigenschaft des Asphalts oder sogenannten Judenpechs, einer schwarzen, harzigen Substanz, sich am Lichte ziemlich schnell zu entfärben. Auf diese gründeten sich die ersten Versuche Niepce's. Ein durch Firniß durchsichtig gemachter Kupferstich wurde auf eine mit Judenpech überzogene Zinnplatte gelegt und dann der Einwirkung des Lichts ausgesetzt. Die schwarzen Stellen des Bildes hielten die Lichtstrahlen fern, die weißen ließen das Licht durch, das nun das Judenpech bleichte. So entstand ein Bild, in welchem Schatten und Licht gerade wie im Original vertheilt waren, nur daß der Unterschied schwächer hervortrat.

Freilich durfte dieses Bild nicht ohne Weiteres dem Lichte ausgesetzt werden, weil sonst auch die bis dahin noch nicht vom Lichte getroffenen Stellen gebleicht worden wären und in ihrem Erlöschen das Bild mit sich genommen hätten. Niepce fand aber auch das Mittel, das von der Sonne erzeugte Bild zu schützen, welches jene berühmten Physiker vergeblich gesucht hatten. Eine Mischung von Lavendelöl und Steinöl, in welche er seine Platte tauchte, löste die unveränderten, vom Lichte nicht betroffenen Theile des Asphalts auf und legte das Metall bloß, während sie an dem vom Lichte getroffenen Stellen den Ueberzug unversehrt ließ. Es trat ein deutliches Bild hervor, dessen Lichter durch den fein zertheilten, gebleichten Asphalt, dessen Schatten

durch die spiegelnden Metalltheile gebildet waren. Es war ein Bild Grau in Grau, dessen Contraste freilich nicht sehr kräftig sein konnten.

Das war jedoch nur das Vorspiel der großen Erfindung, die noch einen anderen Namen unsterblich machen sollte. Das Ziel, welches Niepce vor Augen hatte, war, die mühevolle Arbeit des Graveurs durch die einfache Naturkraft zu ersetzen. Es war ihm gelungen, den Kupferstich durch das Sonnenlicht nachzubilden; jetzt galt es, auch der lebendigen Natur unmittelbar ihre Bilder abzugewinnen. Zwar wußte man längst durch die Sammellinse der Camera obscura sich verkleinerte Abbilder der Natur zu verschaffen; aber diese Bilder waren flüchtig, wie die des Auges. Das Spiegelbild sollte nun in ein dauerndes Gemälde umgewandelt werden. Nach zehnjähriger Arbeit gelang es Niepce, sein bei der Nachbildung der Kupferstiche angewandtes Verfahren auf die Bilder der Camera obscura zu übertragen. Die geringe Lebhaftigkeit dieser Bilder aber ließ ihn nach einem Mittel zur Verschärfung der Schatten suchen, und er fand dies in der zweiten jener angedeuteten Thatsachen, die dem Chemiker längst bekannt war, in der Schwärzung farbloser Silbersalze durch die Einwirkung des Lichts. Er wandte jetzt versilberte Kupferplatten an, die er Dämpfen von Jod- oder Schwefelkalium aussetzte, und erhielt so einen schwarzen Grund, auf welchem die Asphaltzeichnungen deutlich hervortreten konnten.

Noch immer war es freilich eine sehr rohe Kunst, deren Mängel erst recht sichtlich bei dieser Anwendung auf die lebende Natur hervortraten. Das Licht, welches hier wirkte, war viel schwächer, als das volle Sonnenlicht, welches man auf die mit dem Kupferstiche bedeckte Platte hatte einwirken lassen. 10 bis 12 Stunden waren erforderlich, solch ein Lichtbild hervorzurufen, und in einer solchen Zeit änderten sich die Beleuchtung der Gegenstände und ihre Schatten so wesentlich, daß die Bilder bis zum Unkenntlichwerden verwaschen wurden. Da bemächtigte sich ein anderer, gleichfalls ungelehrter Mann dieser Erfindung, Daguerre, ein Pariser Decorationsmaler, der durch die Lichteffecte, die er bei seinen Dioramen anzuwenden hatte, zu einem tieferen Studium des Lichts geführt worden war. Auch er beabsichtigte, die Spiegelbilder der Camera obscura festzuhalten; aber er war Maler und wollte als solcher die Natur zwingen, nicht den Grabstichel, sondern den Pinsel für ihn zu führen.

Das gleiche Streben führte diese beiden Männer zusammen, und am 14. Decbr. 1829 schlossen sie einen Vertrag zur gemeinsamen Benutzung und Ausbildung der gemachten Erfindung. Einem Zufalle

verdankten sie den ersten weiteren Schritt. Auf einer den Joddämpfen ausgesetzt gewesenen Silberplatte war eines Tages zufällig ein Löffel liegen geblieben, und man staunte, als man ihn wegnahm, ein Bild desselben auf der Platte wahrzunehmen, das nur durch die Einwirkung des Lichts entstanden sein konnte. Jetzt ward der Asphalt ganz bei Seite geworfen und statt seiner die Platte durch verdampfendes Jod mit Jodsilber überzogen, das nun eine ganz andere Empfindlichkeit gegen die Einwirkung des Lichtes zeigte. Es war der erste Schritt zur wirklichen Lösung des Problems nach zwanzigjähriger mühevoller Arbeit. Aber es war auch der letzte Erfolg, den Niepce erlebte; er starb, arm und unbekannt, am 5. Juli 1833.

Die Vertauschung des Asphaltüberzuges mit jodirten Silberplatten war ein Ereigniß von so weitgreifender Bedeutung, daß die neue Kunst nicht lange mehr das Licht der Oeffentlichkeit zu scheuen hatte. Statt der bisher stundenlangen Einwirkung des Lichts waren jetzt nur wenige Minuten erforderlich, um der lebenden Natur treue Abbilder zu entreißen, ehe sie noch im Stande war, durch den Wechsel der Beleuchtung die Züge derselben zu verwischen. Zwar wurden durch die Wirkung des Lichts auf diesen Platten noch nicht unmittelbar Bilder erzeugt; die Platten waren gleichsam nur erst fähig zur Aufnahme von Bildern gemacht, oder diese Bilder waren vielmehr noch unsichtbar darauf, gleich den Figuren, die man mit dem Finger auf eine Fensterscheibe zeichnet, ehe der Hauch sie sichtbar macht. Ein Zufall war es wieder, welcher Daguerre das Mittel bot, diesen Bildern Gestalt zu geben. Dies Mittel beruht auf der merkwürdigen Eigenschaft der Quecksilberdämpfe, auf dem vom Lichte bestrahlten und dadurch chemisch veränderten Jodsilber zu haften, während sie die im Schatten gebliebenen Stellen unbedeckt lassen. Es ist für den ersten Beobachter gewiß der überraschendste Theil dieser natürlichen Zauberkunst, da, wo das Auge so eben noch keine Spur einer Zeichnung erblickte, einen Augenblick später ein Bild von einer Vollkommenheit auftauchen zu sehen, als ob es der Pinsel eines unsichtbaren Künstlers hervorgezaubert hätte.

Noch ist das Bild freilich in Wirklichkeit nur ein trügerisches Zauberbild; der erste Sonnenstrahl, der es träfe, würde es wieder verlöschen. Das Bild muß erst fixirt werden, d. h. das unzersetzte Jodsilber, das sich noch auf der Platte befindet, und das vom Lichte geschwärzt werden würde, muß entfernt werden. Daguerre fand ein geeignetes Lösungsmittel für dieses Jodsilber in dem Kochsalze, statt

dessen man aber jetzt erfolgreicher das unterschwefligsaure Natron anwendet. Erst nach einer Waschung mit einer solchen Salzlösung ist das Lichtbild völlig gesichert.

In diesem Zustande der Vervollkommnung durfte die Erfindung nicht länger zögern, vor die Oeffentlichkeit zu treten. Am 7. Januar 1839 kam durch Arago die erste Kunde von dieser in bescheidenem Dunkel gepflegten und entwickelten Kunst zu den staunenden Völkern Europas. Am 15. Juni brachte die Deputirtenkammer Frankreichs dem Genie der Erfinder ihre feierliche Huldigung dar, indem sie Daguerre und dem Sohne Niepce's eine Volksbelohnung zusicherte. Am 19. August legte Arago das Geheimniß der Entdeckung selbst mit allen Einzelheiten vor den Augen der Welt dar. Wohl nie hat eine Nachricht aus der wissenschaftlichen Welt solche Aufregung, solche Ueberraschung hervorgerufen, als die Kunde, daß es gelungen sei, durch bloße Einwirkung des Lichts bei nachfolgender Anwendung gewisser chemischer Substanzen dauernde treue Bilder von Gegenständen auf versilberten Kupferplatten zu erhalten. Nie war wohl der Eifer, mit dem sich Gelehrte und Laien der neuen Kunst bemächtigten, allgemeiner.

Vereinte Bemühungen befreiten die zum öffentlichen Eigenthum gewordene Kunst der Daguerreotypie in wenigen Jahren von allen Mängeln ihrer Jugend und gaben ihr eine Bedeutung für Wissenschaft und Leben, wie sie von den ersten überschwänglichen Bewunderern doch nicht geahnt worden war. Kaum war der erste Rausch der Begeisterung vorüber, so begannen schon die Daguerre'schen Bilder nicht mehr zu befriedigen. Man schalt sie leblose, selbst verzerrte Silhouetten der Natur. Allerdings war das wahre Leben von ihnen ausgeschlossen, denn seine Beweglichkeit vertrug sich nicht mit der langen Dauer der Lichtwirkung, die zur Erzeugung dieser Bilder erforderlich war. Noch betrug diese Dauer im vollen Sonnenlichte mindestens 3 Minuten, bei ungünstiger Beleuchtung sogar gegen eine halbe Stunde. Zwar suchte man diese Zeit durch eine Veränderung der Camera obscura etwas zu verkürzen, indem man Linsen von kürzerer Brennweite einführte, die eine stärkere Concentrirung des Lichts möglich machten. Aber immer betrug noch die zur Erzeugung des Bildes erforderliche Zeit im günstigsten Falle 2—3, im Mittel 4—5 Minuten. Welche Geduld gehörte dazu, diesem Portraitmaler zu sitzen, der im vollen Glanze der Sonnenstrahlen nicht die geringste Zuckung duldete. Das liebenswürdigste Gesicht, mit dem man sich niedersetzte, mußte sich ja auf der Platte in die verzerrten Züge eines Märtyrers verwandeln.

Schon begann man über die Stümpereien der neuen Kunst zu spotten; da entdeckte ein französischer Daguerreotypist, Namens Cloudet, im J. 1841 die merkwürdige Eigenschaft gewisser Stoffe, an und für sich zwar nicht durch das Licht zersetzt zu werden, der jodirten Platte dennoch einen so außerordentlichen Grad von Empfindlichkeit gegen das Licht zu geben, daß wenige Secunden hinreichen, ein scharfes Bild zu erzeugen. Die ersten glücklichen Versuche dieser Art wurden mit Dämpfen von Chlor und Brom gemacht, statt deren dann späterhin als noch wirksamer Bromkalk, Chlorschwefel, Jodbromür, Bromoform und chlorige Säure eingeführt wurden. Durch diese Erfindung war die neue Kunst in den Stand gesetzt, auch das Leben in seiner Beweglichkeit zu erfassen. Aber es waren noch andere Mängel zu beseitigen. Insbesondere schwächte die unangenehme metallische Spiegelung den Eindruck der Bilder, da ihr Ton einzig von den schwachen Gegensätzen zwischen den Farben des Silbers und des Queckſilbers abhing. Ueberdies waren die Bilder so zart, daß der leiseste Pinselstrich hinreichte, sie zu verlöschen. Es fehlte den Bildern an Kraft und Dauer. Aber auch diese wurden ihnen jetzt durch die von Fizeau eingeführte Vergoldung zu Theil. Man brauchte nur eine verdünnte Lösung von Chlorgold und unterschwefligsaurem Natron über das Bild zu gießen, um es sich sofort mit einem zarten Ueberzuge von metallischem Golde bedecken zu sehen, der das Bild vor allen äußeren Einflüssen vollkommen schützt. Das Silber, welches die Schatten des Gemäldes bildet, wird durch die zarte Goldschicht gebräunt und seiner Spiegelung beraubt, während das Queckſilber durch die Goldschicht einen noch lebhafteren Glanz annimmt und dadurch die Lichter des Gemäldes hebt. Durch diese schärferen Contraste in den Farben der Metalle wird natürlich auch die Lebendigkeit und Kraft des Lichtbildes erhöht.

Aber bei allen diesen, wenn auch mit noch so glücklichen Erfolgen gekrönten Bemühungen war man doch allmälig zu der Ueberzeugung gekommen, daß Metalle ihres Glanzes wegen überhaupt nicht das rechte Material seien, um Bilder darauf zu malen. Man erinnerte sich, daß man von einem ganz anderen Zwecke ausgegangen sei, als man diese Metallplatten in die neue Kunst einführte, daß man ursprünglich in den auf ihnen erzeugten Bildern nur einen Ersatz für mühsam gravirte Kupferplatten gesucht habe, und daß die Herstellung von Bildern auf Papier doch eigentlich die wahre Aufgabe dieser Erfindung gewesen sei. Allerdings war schon wenige Tage nach jener Zeit, in welcher

Arago's erste Veröffentlichung der Daguerre'schen Erfindung die ganze Welt mit Staunen erfüllte, am 30. Januar 1839 der englische Physiker Talbot mit der Erklärung hervorgetreten, daß es ihm gelungen sei, die Bilder der Camera obscura auf Papier zu befestigen. Aber diese erste Veröffentlichung Talbot's war zu unvollständig und zu geheimnißvoll gewesen, um sich mitten durch den Enthusiasmus für die Daguerre'sche Kunst Bahn zu brechen. Sie war vergessen worden, bis jetzt das klar erkannte Bedürfniß ihr Gehör und Geltung verschaffte. Ein französischer Tuchmacher, Blanquart Evrard in Lille, gab dazu die Veranlassung, indem er im J. 1847 ein wesentlich mit der Talbot'schen Erfindung übereinstimmendes Verfahren, Lichtbilder auf Papier zu erzeugen, veröffentlichte. Talbot schwieg mit der Bescheidenheit des echten Forschers und wartete, bis eine spätere, klarer blickende Zeit ihm sein geistiges Eigenthumsrecht zurückerstatten werde. Aber er blieb darum nicht unthätig, und wäre er nicht der Erfinder gewesen, so hätte der glückliche Scharfsinn, mit welchem er diesen Zweig der photographischen Kunst in wenigen Jahren der Vollendung entgegenführte, ihm den ersten Preis in dem neuen Wettstreite der Geister sichern müssen.

Das Wesen der Talbot'schen Erfindung beruht wieder auf der Eigenschaft gewisser Silbersalze, sich unter Einwirkung des Lichts in Folge chemischer Zersetzung zu schwärzen. Zuerst war es das Chlorsilber, das man zu diesem Zwecke anwandte, und das man dadurch im Papiere selbst erzeugte, daß man dasselbe zuerst mit einer Kochsalzlösung, dann mit einer Lösung von salpetersaurem Silberoxyd tränkte. Wenn man ein solches empfindliches Papier mit einem durchscheinend gemachten Kupferstiche bedeckte oder das Bild einer Camera obscura darauf fallen ließ, so wurde es, je nach dem Grade der Beleuchtung, an den hellen Stellen geschwärzt, während es an den dunklen unverändert weiß blieb. Es erzeugte sich ein helles Bild auf dunklem Grunde mit verwechselten Lichtern und Schatten, ein sogenanntes negatives Bild, das durch Wiederholung der Operation auf ein anderes empfindliches Papier als positives Bild übertragen werden konnte. Freilich mußte das durch Schwärzung des Chlorsilbers erzeugte Bild, ehe es dem Tageslichte ausgesetzt werden durfte, ebenso fixirt werden, wie das Bild auf der Daguerre'schen Platte. Es mußte also das ungeschwärzt gebliebene, empfindliche Chlorsilber aus dem Papiere entfernt werden. Dazu bedurfte es wieder einer Flüssigkeit, welche das unveränderte Chlorsilber mit Leichtigkeit auflöste, das ge-

schwärzte dagegen, je nach der Stärke der vorangegangenen Bestrahlung, zurückließ. In dieser Eigenschaft bewährten sich außer der Salzsäure einige Chlor- und Cyanverbindungen, einige Ammoniaksalze, vor allen aber die unterschwefligsauren Alkalien. Ein Bad in unterschwefligsaurem Natron stellte das Talbot'sche Lichtbild vor jeder ferner störenden Einwirkung des Lichtes sicher.

Der nächste Fortschritt in der Talbot'schen Kunst war durch das Bedürfniß einer kürzeren Zeitdauer der Bestrahlung und Vermeidung des unmittelbaren Sonnenlichts angezeigt. Zwar konnte man das Papier schon bedeutend empfindlicher gegen das Licht machen, wenn man das Chlorsilber durch Jod- oder Bromsilber ersetzte, d. h. das Papier, statt mit Kochsalz, zuvor mit Jod- oder Bromnatrium tränkte. Aber um Bilder der Camera obscura, namentlich dem bewegten Leben entnommene, treu und unverwaschen zu fixiren, genügte dieses Mittel noch nicht. Man mußte chemische Substanzen suchen, welche auf die empfindliche Schicht von Silbersalzen, auch wenn diese nur für so kurze Zeit dem Lichte ausgesetzt war, daß das Auge noch keine oder doch nur sehr schwache Farbenveränderungen auf ihr wahrnimmt, so kräftig einwirken, daß sie die unmerklichen Lichtveränderungen ihrem Grade nach durch hellere und dunklere Färbung sichtbar machen. Eine solche, die chemische Wirkung des Lichts gleichsam beschleunigende Substanz fand Talbot in der Gallussäure, und in noch höherem Grade erkannte man später diese Eigenschaft an dem Eisenvitriol und der Pyrogallussäure. Es giebt kaum Wunderbareres, als die zauberhafte Wirkung dieser Substanzen, wenn das jodirte, nur wenige Secunden dem Lichte ausgesetzte Papier, auf dem noch keine Spur eines Bildes sichtbar ist, in die Auflösung einer jener Substanzen getaucht wird, und nun allmälig das Zauberbild auftaucht, zuerst ein schwacher Schattenriß, der immer schärfere Umrisse gewinnt und endlich bis in die feinsten Partien mit mikroskopischer Genauigkeit wie von einem unsichtbaren Pinsel ausgeführt wird.

Das ist der letzte bedeutsame Schritt, der bisher in dieser natürlichen Malerkunst geschehen ist. Andere Verbesserungen in der Auswahl der wirksamen chemischen Substanzen oder in der Einrichtung der Camera obscura müssen hier übergangen werden. Nur eine Neuerung darf nicht ganz unerwähnt bleiben, weil sie wesentlich zur Vollendung und Verbreitung der photographischen Kunst beigetragen hat. Auch die Papierbilder entsprachen nicht ganz den gesteigerten Anforderungen an diese Kunst. War die Wirkung der Metallbilder durch den

metallischen Glanz beeinträchtigt worden, so vermißte man auf den Papierbildern jene Kraft, jene Zartheit der Zeichnung, jene wunderbare Abstufung der Töne, welche den Metallbildern ihren eigenthümlichen Reiz gegeben hatten. Die Rauhheit und Ungleichförmigkeit des Papieres verschuldete diese Mängel. Dazu kam noch seine mangelhafte Durchsichtigkeit, welche bei der Umwandlung der negativen Bilder in positive die erheblichsten Uebelstände herbeiführte. Man kam daher zunächst auf den Gedanken, das Papier durch glatte Ueberzüge von Firniß, Leim, Kleister der Metallplatte näher zu bringen. Da aber in diesem Falle die Lichtbilder nicht mehr auf dem Papiere selbst, sondern auf diesen Ueberzügen entstanden, so lag es nahe, überhaupt das nur noch als Grundlage dienende Papier durch andere, namentlich durchsichtigere Substanzen zu ersetzen, wenigstens für die Aufnahme der negativen Bilder, um den Lichtverlust beim Copiren derselben zu vermeiden. So wurde durch Archer in England das Collodium in die photographische Kunst eingeführt. Glasplatten, mit einer äußerst dünnen Schicht von Collodium überzogen, dienen jetzt zur Aufnahme der Bilder, die selbst, wenn sie nachher auf Papier übertragen werden, an Schärfe der Zeichnung und Zartheit der Töne mit den Metallbildern wetteifern können.

Sieben und zwanzig Jahre sind verflossen, seit aus den Räumen der Pariser Academie die erste Kunde von dieser Erfindung durch die Welt ging; aber wohl selten hat in so kurzer Zeit eine Erfindung solche Vollendung erreicht. Niepce's erste Bilder erforderten Stunden zu ihrer Erzeugung; Daguerre's verbesserter Kunst gelang es nur, diese Stunden auf Minuten herabzusetzen; jetzt zwingt man das Licht, in Bruchtheilen einer Secunde seine Bilder zu zeichnen, Thiere und Menschen mitten in ihrer Bewegung, segelnde Schiffe und am Ufer sich brechende Wellen in festen Zügen auf die empfindliche Schicht zu bannen. Allerdings haben die photographischen Bilder nichts gemein mit der gedankenvollen, aus der Tiefe der Seele stammenden Schöpfung des Künstlers; sie sind nur treue Copien, die durch Wahrheit in den kleinsten Details und durch richtige Vertheilung von Licht und Schatten Bewunderung einflößen, die freilich nur zu den Sinnen, aber selbst zu den mit der Lupe bewaffneten Sinnen sprechen. Diese Copien haben eine besondere Bedeutung, wo es gilt, Formen der Kunst oder der Natur, Denkmäler des Alterthums oder Thier- und Pflanzenformen der Fremde dem Auge vorzuführen. In neuerer Zeit ist es ja sogar gelungen, die Bilder des Mikroskops auf das Papier zu bannen und da-

durch das Leben in den flüchtigen Momenten seine Entwicklung für das Auge festzuhalten. Selbst in die Himmelshöhen hat sich diese Kunst verstiegen, und es gehört bereits zu den täglichen Arbeiten vieler Sternwarten, Sonne und Mond ihre photographischen Bilder zeichnen zu lassen, um von Tage zu Tage die Veränderungen auf ihren Oberflächen verfolgen zu können, die den schärfsten Blicken des Astronomen bisher nur zu leicht entgingen. Selbst zu niederen Handlangerdiensten hat sich die photographische Kunst auf den Observatorien der Astronomen und Meteorologen hergegeben, indem man sie benutzt hat, unausgesetzt Tag und Nacht die Instrumente zu bewachen und die Angaben der Magnetnadel, der Thermometer, Barometer und Elektrometer mit einer solchen Genauigkeit zu verzeichnen, daß der Forscher, der indessen vielleicht der Ruhe pflegte oder in ernste Forschungen vertieft war, von Augenblick zu Augenblick den Gang seiner Instrumente verfolgen kann. Der einfache Apparat, der diese Arbeit, die sonst eine große Geisteskraft des Beobachters in Anspruch nahm, verrichtet, ist ein kleiner Spiegel an der Spitze der Magnetnadel oder auf der Oberfläche der Quecksilbersäule, welcher das Licht einer Lampe auf einen fernen, im Dunkeln stehenden Schirm wirft. Dieser Schirm trägt ein empfindliches Papier, das auf einen Cylinder befestigt ist, der sich innerhalb 24 Stunden genau einmal um seine Axe dreht. Der Lichtreflex, der alle Bewegungen der Magnetnadel oder der Quecksilbersäule mitmacht, zeichnet nun durch seinen Einfluß auf das empfindliche Papier seinen Weg auf demselben ab, und der Beobachter hat nichts zu thun, als diese Zeichnung durch eine der erwähnten Waschungen bleibend zu machen, um das Verzeichniß aller Veränderungen seines Instruments darin lesen zu können.

Der Vorgang selbst, auf welchem die Erzeugung dieser photographischen Bilder beruht, ist nicht mehr so geheimnißvoll, als er in der ersten Zeit der Erfindung erschien. Er besteht in der chemischen Veränderung, welche das Chlorsilber erleidet, indem es durch das Licht seines Chlors beraubt wird. Da das unterschwefligsaure Natron nur das Chlorsilber unter Bildung eines Doppelsalzes aufzulösen vermag, so bleibt das durch das Licht befreite Silber auf dem Papiere zurück und zeichnet das Bild seines Befreiers. Die Zersetzung des Chlorsilbers selbst durch den Einfluß des Lichts kann nur vorgestellt werden als eine durch die Lichtschwingungen bewirkte Erschütterung der Moleküle desselben. Auch die Erklärung der Wirkungen der sogenannten beschleunigenden Substanzen, die ein Bild hervorzaubern, wo das

Licht wegen der Kürze der Zeit noch nicht im Stande war, die zarteste Schwärzung des Chlorsilbers zu bewirken, bereitet keine große Schwierigkeit. Sie findet sich in der außerordentlichen Uebereinstimmung zwischen den chemischen Wirkungen dieser Stoffe und denen des Lichts. Eisenvitriol und Pyrogallussäure zeichnen sich durch ihre starke Neigung zum Sauerstoffe und zum Chlor aus und entziehen diese allen Körpern, welche sie nicht sehr festgebunden enthalten. Eisenvitriol verwandelt sich an der Luft unter Aufnahme von Sauerstoff in ein Oxydsalz; Pyrogallussäure färbt sich braun und setzt eine dunkele, sauerstoffreichere, huminartige Substanz ab. Gold wird aus der Lösung des Chlorgoldes durch diese Stoffe metallisch ausgeschieden, und Silber aus der Auflösung des salpetersauren Silberoxyds wenigstens nach einiger Zeit gefällt. Alle diese Substanzen bewirken also auf dem mit Chlorsilber getränkten Papiere, was das Licht in der kurzen Zeit seiner Einwirkung nicht vollenden konnte. Denn eine chemische Zersetzung hat durch das Licht jedenfalls noch nicht stattgefunden, wenn die Einwirkung des Eisenvitriols oder der Pyrogallussäure beginnt. Es kann also durch den Einfluß der Lichtschwingungen wohl nur eine Erschütterung und Lockerung des Zusammenhangs zwischen den kleinsten Theilen des Chlors und des Silbers eingetreten sein, die bei längerer und stärkerer Bestrahlung in eine wirkliche Trennung der Bestandtheile übergehen würde, die aber hier durch die chemische Verwandtschaftskraft des Eisenvitriols oder der Pyrogallussäure fortgeführt und vollendet wird.

Das Hervorrufen der Daguerre'schen Bilder durch Quecksilberdämpfe, das offenbar auch nur auf einer Zersetzung des Jodsilbers durch das Licht und der Niederschlagung kleiner Quecksilberkügelchen auf dem freigewordenen Silber beruht, hat eine gewisse äußere Aehnlichkeit mit einer Reihe von Erscheinungen, die man gewöhnlich als Hauchbilder bezeichnet, und auf welche Moser in Königsberg die Annahme eines unsichtbaren oder latenten Lichtes gründete. Die einfachsten dieser Hauchbilder liefert schon das spielende Kind, wenn es mit dem Finger auf der Fensterscheibe Figuren malt und diese dann durch den Hauch des Mundes sichtbar macht. Ganz dasselbe würde sich aber auch auf jeder polirten Platte zeigen, wenn man mit irgend einem Körper darauf schriebe und irgend welche Dämpfe sich darauf niederschlagen ließe. Moser zeigte aber, daß es überhaupt nur der Berührung eines Körpers mit der polirten Oberfläche eines andern bedürfe, um sein Bild auf derselben zu erzeugen. Legt man einen

gravirten Achatstempel auf eine gereinigte Glasplatte oder auf eine polirte Silberplatte, und läßt man sie damit selbst in einem völlig dunkeln Raume längere Zeit in Berührung, so sieht man beim Behauchen der Glasplatte oder beim Ausströmen von Queckſilberdämpfen gegen die Silberplatte ein deutliches Bild des Stempels auf der Platte entstehen. Aber es bedarf nicht einmal der unmittelbaren Berührung, schon aus einiger Entfernung prägt sich das Bild eines Stempels auf der Platte ab, und selbst der bloße Niederschlag von Dämpfen genügt, einer Platte die Fähigkeit zu ertheilen, Hauchbilder zu erzeugen. Schneidet man aus einem Blatte Papier Figuren aus, legt dann das Blatt auf eine reine Glasplatte und haucht darüber, so erscheinen die Figuren des Ausschnitts, lange nachdem das Papier hinweggenommen und der erste Beschlag verschwunden ist, bei jedem abermaligen Behauchen auf's Neue. Diese Wirkungen haben in der That eine gewisse Aehnlichkeit mit den Wirkungen des Lichts auf Daguerre'sche Platten. Es scheint, als ob das Licht geradezu auf reine Platten eine Einwirkung ausübe, die sich durch niedergeschlagene Dämpfe sichtbar machen läßt, und als ob sogar die Verdichtung von Dämpfen ein dem Lichte ganz gleiches Verhalten zeige. Moser suchte sie darum auch wirklich durch die Annahme zu erklären, daß bei jeder Verdichtung von Dämpfen eine Lichtausscheidung, bei jeder Verdampfung also eine Lichtbindung eintrete, so daß es gleichsam ein latentes, unsichtbares Licht gäbe, wie es eine latente, unfühlbare Wärme giebt. Moser erklärte geradezu jeden Körper für einen selbstleuchtenden, und ließ durch sein für jedes Auge unsichtbares Licht selbst im dunkeln Raume Veränderungen an der Oberfläche anderer Körper bewirkt werden, die erst durch die Unterschiede in der Bethauung erkennbar werden.

Ein einfacher Versuch Waidele's hat dieser kühnen Hypothese Moser's sehr schnell ein Ende bereitet. Er beruht auf der bekannten Eigenschaft der Kohle, Dämpfe und Gase in sich zu verdichten. Man bestreut nämlich die eine Hälfte einer frischpolirten Silberplatte mit einem Kohlenpulver, das längere Zeit an der Luft gelegen hat, also von mancherlei Gasen durchdrungen ist, die andere Hälfte aber mit frisch ausgeglühter und rasch unter Queckſilber abgelöschter, also noch völlig reiner Kohle. Wenn man dann nach einigen Minuten das Kohlenpulver durch reine Baumwollenflocken von der Silberplatte wieder entfernt und dieselbe nun behaucht, so zeigt diese da, wo die frischgeglühte Kohle lag, eine bläuliche, auf der anderen Hälfte eine bräunliche

Färbung. Wollte man die Silberplatte Queckſilberdämpfen ausſetzen, ſo würden dieſe ſich nur da niederſchlagen, wo das friſchgeglühte Kohlenpulver gelegen hat. Die Erklärung dieſer Erſcheinung liegt ſehr nahe. Jeder Körper iſt im Allgemeinen mit einer Schicht verdichteten Gaſes bedeckt. Wird ein Körper ausgeglüht, ſo wird er dadurch von dieſen verdichteten Gaſen befreit. Wird eine Silberplatte mit friſchgeglühtem Tripel geputzt oder mit friſchgeglühter Kohle beſtreut, ſo wird ſie gleichfalls rein von ſolchen Gaſen. Auf dieſen befreiten Stellen können ſich nun die Waſſerdämpfe des Hauches oder die Queckſilberdämpfe verdichten, nicht aber auf den von Gaſen bereits bedeckten Stellen. Ein mit friſchgeglühtem Tripel geputzter Stempel kann ſein Bild auf einer nicht geputzten Silberplatte erzeugen; einer reinen Platte aber prägt ein reiner Stempel ſein Bild nicht auf. Die Hauchfiguren haben alſo durchaus nichts mit den chemiſchen Wirkungen des Lichts zu thun, ſondern ſind nur Wirkungen der zwiſchen feſten und gasförmigen Körpern beſtehenden Anziehung. Das unſichtbare Licht Moſer's iſt damit in das Reich wiſſenſchaftlicher Träume verwieſen.

Nicht ſo leicht iſt es, mit einer anderen Claſſe unſichtbarer Lichtſtrahlen fertig zu werden, deren Exiſtenz gerade aus den Erſcheinungen der Photographie abgeleitet wird. Man kann ſich in der That ſehr leicht zu der Annahme verſucht fühlen, daß es nicht die gewöhnlichen leuchtenden Strahlen, die farbig in unſer Auge dringen und mit Farben die Formen der Außenwelt umſäumen, ſeien, welche die chemiſchen Wirkungen ausüben, daß vielmehr mit jenen, ähnlich, wie die Wärmeſtrahlen, andere ſich miſchen, welche, weder fühlbar, noch ſichtbar, nur chemiſcher Wirkungen fähig ſind. Wenn es nämlich die leuchtenden Strahlen ſein ſollen, von denen die photographiſchen Wirkungen ausgehen, ſo müßten dieſe Wirkungen durchaus der Helligkeit ſelbſt bei Verſchiedenheit der Farbe entſprechen. Aber während die gelben Strahlen für das Auge die hellſten ſind, zeigen die violetten, alſo die brechbarſten aller ſichtbaren Strahlen, die kräftigſte chemiſche Wirkung. Läßt man ein Sonnenſpectrum auf ein leichtempfindliches Papier fallen, ſo tritt die Veränderung am ſchnellſten im äußerſten Violett ein, langſamer zu beiden Seiten desſelben, im Blau und jenſeits des Spectrums, und ſie verſchwindet allmälig gegen das Roth hin. Dieſer Umſtand, daß die Intenſität der chemiſchen Wirkung einen ganz anderen Verlauf durch die Reihe der Farben nimmt, als die Intenſität des Lichts für das Auge, und daß eine chemiſche Wirkung ſogar wahrnehmbar wird an

einer Stelle des Spectrums, die für das Auge völlig dunkel ist, verbunden mit dem Umstande, daß Substanzen, die für unser Auge helles Licht hindurchlassen, die chemische Wirkung schwächen oder vernichten können, und umgekehrt, hat wirklich zur Annahme besonderer „chemischer Strahlen" Veranlassung gegeben.

Gleichwohl müssen auch diese chemischen Strahlen in das Reich wissenschaftlicher Traumgebilde verwiesen werden. Die genaue Uebereinstimmung, welche zwischen chemischen und leuchtenden Strahlen in Fortpflanzung, Brechung, Zurückwerfung, Beugung besteht, die genaue Uebereinstimmung selbst der Frauenhofer'schen Linien im chemischen, wie im farbigen Spectrum, abgesehen von der im ersteren eintretenden Ausdehnung über das Violett hinaus, lassen keinen Zweifel übrig, daß dieselben Schwingungen der einen wie der anderen Erscheinung zu Grunde liegen. Wenn aber die chemische Wirkung eine andere Ausdehnung des Spectrums zeigt, als das Auge empfindet, so ist die Ursache im Auge, nicht in der Verschiedenheit der Schwingungen zu suchen. Die Empfindlichkeit unseres Auges ist nicht einmal so unveränderlich, als wir meinen; es vermag noch recht gut jenseits des Roth und Violett Licht wahrzunehmen, wenn es gegen die helleren Strahlen des Spectrums geschützt wird. Ueberdies sind es ja die übervioletten Strahlen vorzugsweise, die uns in dem fluorescirenden Lichte in Folge einer Verlangsamung ihrer Schwingungen sichtbar werden. Sodann hängt ja auch für die chemischen Strahlen die Ausdehnung des Spectrums von der Substanz des Prismas sowohl, als von der des lichtempfindlichen Papieres ab. Es kommt also darauf an, welche Strahlen absorbirt werden. Nun haben aber Versuche, die man mit der Linse des Auges angestellt hat, gezeigt, daß ein durch dieselbe erzeugtes Spectrum auf einem lichtempfindlichen Papiere jenseits des Violett kaum noch die leiseste Wirkung hervorbringt, daß also durch die Substanz des Auges alle über das Violett hinaus liegenden Strahlen absorbirt und damit unsichtbar gemacht werden.

Diese Thatsache enthält die einfachste Erklärung der Verschiedenheit, welche sich zwischen der Intensität des Lichts für das Auge und der Intensität seiner chemischen Wirkungen zeigt. Wenn man durch ein gefärbtes Glas auf ein Farbenspectrum blickt, so erscheint nicht mehr das Gelb als die hellste Stelle, sondern eine andere von der Färbung des Glases abhängige Stelle, das Roth, wenn man durch ein rothes, das Blau, wenn man durch ein blaues Glas sieht. Das Licht aber, welches durch ein solches Glas hindurchgegangen und

geschwächt worden ist, kann nun durch ein zweites Glas von derselben Beschaffenheit hindurchgehen, ohne irgend eine Schwächung zu erleiden, während ein Glas von anderer Beschaffenheit es abermals und auf's Empfindlichste beeinträchtigen würde. Wenn also auch durch das Prisma, durch welches wir das Spectrum dargestellt haben, die Intensität des Lichts geschwächt worden ist, so werden doch solche Farben ohne weitere Schwächung in unser Auge eindringen können, für welche die Substanz des Auges dieselbe Schwächung bewirkt, wie das Prisma. Dagegen werden alle diejenigen Strahlen, für welche das Absorptionsvermögen des Auges von der des Prismas verschieden ist, nicht mehr in das Auge zu bringen vermögen. Wie mit dem Auge, verhält es sich aber auch mit den lichtempfindlichen Stoffen, etwa mit dem Jod- oder Chlorsilberpapier. Das Auge ist also für Strahlen mittlerer Brechbarkeit sehr empfindlich, weil diese Strahlen in unseren farblosen Prismen und im Auge auf gleiche Weise geschwächt werden; das Jodsilber dagegen besitzt seine Empfindlichkeit aus ähnlichen Gründen für die Strahlen von größerer Brechbarkeit. Das Auge ist wenig empfindlich für die brechbareren Strahlen, das Jodsilber für die weniger brechbaren, weil eine andere Absorption im Prisma, eine andere im Auge, eine andere im Jodsilber stattfindet.

Die chemische Wirkung des Lichtes, dessen glänzendste Verwendung wir in der Photographie kennen lernten, ist ein unwiderleglicher Beweis, daß auch die Materie vom Lichte erregt wird. Die Zahl der Körper, welche solche wahrnehmbare Veränderungen durch das Licht erleiden, ist außerordentlich groß; selbst die dem Anscheine nach so wenig veränderlichen Metalle gehören darunter; ja man kann annehmen, daß keine Materie, welcher Natur sie auch sei, unter dem Einflusse des Lichts ganz unverändert bleibt. Die Veränderungen, welche das Licht alltäglich in der wägbaren Materie hervorbringt, können darum nicht unwesentlich sein, und man wird schließlich dahin gedrängt, das Licht für eine der wirksamsten Kräfte in der Natur zu nehmen. Der Lieblingsgedanke George Stephenson's hat nichts Befremdendes mehr, daß das Licht, welches wir in der Nacht von unseren Brennstoffen empfangen, nur eine Wiedergabe des von der Sonne gekommenen Lichtes sei, welches die organischen Wesen in früherer Zeit absorbirt haben.

Ehe man die chemische Wirkung des Lichtes kannte, sträubte sich die gewöhnliche Anschauung gegen nichts mehr, als gegen eine Bezeichnung des Lichtes als Kraft. Jetzt kennen wir es als eine Kraft,

wie jede andere in der Natur, geeignet, mittelbar oder unmittelbar jede andere hervorzurufen oder sich vielmehr in sie zu verwandeln. Gerade seine chemische Thätigkeit bildet den Ausgangspunkt für die mannigfaltigsten Verwandlungen. Am anschaulichsten wird dies durch einen Versuch, welchen der berühmte englische Physiker Grove bereits im J. 1843 ausführte. Eine empfindliche Platte, wie man sie in der Daguerreotypie anwendet, wird in einen mit Wasser gefüllten Kasten eingeschlossen, und dieser durch eine Glasscheibe bedeckt, welche wieder durch einen Schirm verdeckt werden kann. Zwischen Glas und Platte wird ein Gitter von Silberdraht angebracht, und die Platte mit dem einen Ende eines Multiplicatordrahtes, das Drahtgitter mit dem einen Ende eines Breguet'schen Thermometers (einer sehr dünnen Platte zweier an einander gelötheter Metalle, deren ungleiche Ausdehnungen die geringsten Temperaturveränderungen anzeigen) in Verbindung gesetzt. Das andere Ende des Multiplicatordrahtes und das andere Ende des Thermometers werden durch einen Leitungsdraht verbunden. Sobald man durch Verschiebung des Schirmes einem Strahle zerstreuten Lichtes oder einer Hydro-Oxygengasflamme den Zutritt zu der empfindlichen Platte gestattet, gerathen augenblicklich die Nadeln des Multiplicators und des Thermometers in Bewegung. Hier ist das Licht die Anfangskraft, und von ihm erregt sehen wir auf der Platte eine chemische Thätigkeit, in den Silberdrähten Elektricität, in der Multiplicatorspirale Magnetismus, in dem Thermometer Wärme, in den Nadeln sogar Bewegung auftreten.

Viertes Kapitel.

Die Verwandlungserscheinungen der Elektricität und des Magnetismus.

Unter allen Kräften der Natur ist die Elektricität wohl diejenige, die am deutlichsten ihre reichen Wechselbeziehungen zu anderen Kräften darlegt. Niemals sehen wir die Elektricität eintreten, ohne daß eine Erregung oder Bewegung der Materie vorangegangen wäre, sei es, wie in den gewöhnlichsten Fällen, eine Reibung, oder sei es eine

chemische Thätigkeit, oder endlich die Wärme. Niemals sehen wir die Elektricität wirken, ohne daß zugleich fast sämmtliche andere physikalischen Kräfte in Erscheinung träten. Mit diesen Wechselbeziehungen zwischen der Elektricität und Bewegungen aller Art verträgt sich daher die alte Theorie, welche in der Elektricität geheimnißvolle, schwerlose Fluida erblickte, nicht mehr. Man kann die Elektricität nur noch auffassen als eine Uebertragung von Kraft oder Bewegung, als eine in bestimmter Richtung wirkende molekulare Bewegung der gewöhnlichen Materie.

Man mag elektrische Erscheinungen betrachten, welcher Art man wolle, und man wird finden, daß es dabei niemals ohne eine Veränderung der erregten Materie abgeht. Wenn man einen unelektrischen Körper dadurch elektrisch macht, daß man ihn in die Nähe eines elektrisirten Leiters bringt, so könnte man meinen, daß der dazwischen liegende nichtelektrische Körper dabei vollkommen gleichgültig sei. Aber Faraday hat bewiesen, daß die Wirkung gar sehr von der Natur des eingeschobenen Nichtleiters abhängt, daß sie stärker ist, wenn Schwefel, als wenn Gummilack eingeschoben wird, wieder stärker beim Gummilack, als beim Glase, und daß der eingeschobene Nichtleiter selbst durch seine ganze Masse hindurch an der molekularen Bewegung der Elektricität Theil nimmt. Auch der elektrische Funke oder der schöne Lichtbogen zwischen den Polen einer Volta'schen Säule ist nur eine Folge materieller Veränderungen, theils einer wirklichen Abtrennung materieller Theilchen von den Endpunkten der Leiter oder den Spitzen der Pole, theils einer molekularen Thätigkeit des Mittels, durch welches die elektrische Entladung hindurch geht. Ein Beweis dafür ist die Abhängigkeit der Farbe des elektrischen Funkens von der Substanz des Metalles und selbst des umgebenden Mittels.

Der elektrische Funken des Zinks ist blau, der des Silbers grün, der des Eisens roth und flimmernd, und diese Farben sind genau dieselben, welche diese Metalle bei ihrer gewöhnlichen Verbrennung zeigen. Bei einer kräftigen Volta'schen Entladung können sogar die von den Endpunkten der Leiter ausgestreuten Metalltheilchen aufgefangen und gewogen werden. Eine Feuererscheinung oder Verbrennung im eigentlichen Sinne ist indeß der elektrische Funken oder Lichtbogen nicht. Einerseits wird die Materie der leitenden Spitzen dabei nicht blos in den Zustand des Glühens versetzt, sondern zugleich mechanisch abgetrennt und zum Theil in Dampfform umgewandelt. Andererseits finden dabei nicht nothwendig chemische Verbindungen statt, wie sie die

eigentliche Verbrennung voraussetzt. Wenn man in einem luftleeren Raume zwischen zwei Zinkspitzen eine kräftige Volta'sche Entladung stattfinden läßt, so kann man den feinen schwarzen Zinkstaub sammeln und nachher an der Luft durch Berührung mit einem glühenden Drahte entzünden, so daß das Zink scheinbar zum zweiten Male verbrennt. Aber nicht blos die Materie der Pole, auch das Mittel oder die Zwischensubstanz wird durch die elektrische Entladung erregt. Wenn man das zwischen den Polspitzen befindliche Gas verdünnt, so geht die Entladung allmälig aus der Form des Funkens in die des Lichtbüschels über, und zugleich erlangt sie die Fähigkeit, sich über einen weit größeren Abstand auszudehnen. Eine Entladung, die in Luft von gewöhnlicher Dichtigkeit kaum einige Linien durchdringt, geht in sehr verdünnter Luft vielleicht durch einen Raum von mehreren Fußen. Läßt man statt der gewöhnlichen Luft andere Gase das Mittel bilden, so verändert sich mit jedem Gase die Farbe des Funkens, und zugleich erleidet das Gas selbst Veränderungen, die zuweilen bleibende Folgen zurücklassen, während bei manchen Gasen unmittelbar nach der Entladung der normale Zustand zurückzukehren scheint. Ammoniak, ölbildendes Gas, Stickstoffoxyd und Stickstoffoxydulgas werden durch die Entladung zersetzt. Sind mehrere gemischte Gase vorhanden, so treten auch chemische Verbindungen ein; Sauerstoff- und Wasserstoffgas verbinden sich zu Wasser, in gewöhnlicher atmosphärischer Luft entsteht Salpetersäure, bei einer Mischung von Chlorgas mit Wasserdämpfen wird Sauerstoffgas frei. Auch ohne daß eine Zersetzung oder Verbindung eintritt, kann ein einfaches Gas bisweilen durch den elektrischen Funken eine dauernde Veränderung erleiden. So verwandelt sich der Sauerstoff unter dem Einflusse der elektrischen Entladung in das bekannte Ozon, das gewöhnlich die Ursache des sogenannten Schwefelgeruchs bei heftiger Entladung ist, und eine ähnliche Umwandlung, die man eine allotropische genannt hat, erleidet der Phosphordampf.

Auch bei der Uebertragung der Elektricität durch gut leitende Körper, wie es die Metalle und die Kohle sind, findet unzweifelhaft im Innern dieser Substanzen eine Veränderung statt, die nur als Bewegung gedeutet werden kann. Schon die Wärmeerscheinungen in Leitungsdrähten setzen eine Ausdehnung oder eine Veränderung in der Lage der Moleküle voraus. Aber diese durch die Elektricität bewirkte Ausdehnung läßt sich auch sichtbar machen. Wenn man die Entladung einer Leydener Flasche durch einen Platindraht von hinreichen-

der Dicke hindurchgehen läßt, so daß er nicht geschmolzen werden kann, so findet man, daß der Draht sich verkürzt; nach längerer Fortdauer der Entladung erhebt er sich sogar in kleinen Falten oder winkeligen Unregelmäßigkeiten. Wendet man einen kräftigeren Volta'schen Strom an und befestigt zugleich den Leitungsdraht so, daß er beim Schmelzen seine Lage nicht verändern kann, so zerreißt er im Augenblicke, wo er den Schmelzungspunkt erreicht hat, in Stücke, deren Lage eine Zusammenziehung in der Richtung der Länge, also eine Ausdehnung in der Richtung der Breite anzeigt. Man will auch die Erfahrung gemacht haben, daß Drähte, die längere Zeit als Leiter der atmosphärischen Elektricität dienen, Veränderungen ihrer Structur erleiden und brüchig werden. Jedenfalls ist nachgewiesen, daß die Elasticität von Metalldrähten, während sie den elektrischen Strom leiten, vorübergehend vermindert wird. Auch der schon erwähnte Zusammenhang zwischen dem Leitungsvermögen der Körper für Wärme und demjenigen für Elektricität und der damit angezeigte Einfluß der inneren Structur auf die elektrische Leitung läßt auf eine Bewegung schließen, die bei der Uebertragung der Elektricität stattfindet. Dies wird durch die Beziehungen bestätigt, welche zwischen dem elektrischen Leitungsvermögen der Körper und ihrer Durchgängigkeit für das Licht bestehen. Die durchsichtigen festen Körper sind sämmtlich sehr unvollkommene Leiter der Elektricität, und auch die Gase, die das Licht so leicht durchlassen, müssen zu den schlechten Leitern der Elektricität gerechnet werden. Die Kohle im Zustande des durchsichtigen Krystalls als Diamant nimmt fast die erste Stelle unter den bekannten Nichtleitern ein, während sie im undurchsichtigen Zustande als Graphit oder gewöhnliche Holzkohle fast die erste Stelle unter den guten Leitern einnimmt. Eine verschiedene Anordnung der Moleküle bedingt also auch ein verschiedenes Leitungsvermögen für die Elektricität.

Das innige Wechselverhältniß zwischen Elektricität und Magnetismus ist bereits ausführlicher besprochen worden. Oersted hat gezeigt, daß die Elektricität unmittelbar Magnetismus hervorbringt; Faraday hat nachgewiesen, daß der Magnetismus seinerseits wieder Elektricität hervorruft. Beide Kräfte kann man seitdem kaum noch getrennt von einander denken. Die Wirkung beider Kräfte auf einander erfolgt, wie wir gesehen haben, in rechtwinkeliger Richtung, so daß von elektrischen Strömen durchlaufene Körper das Streben haben, den Magnet rechtwinkelig auf die Richtung ihres Stromes zu stellen, während Magnete die Leiter der Elektricität rechtwinkelig auf ihre Axe

zu stellen suchen. Wir haben auch bereits gesehen, daß eine wirkliche Bewegung in diesem Sinne eintritt, wenn die eine oder andere der auf einander wirkenden Kräfte in einem freibeweglichen Körper wirkt. Wenn man eine flache Schale mit gesäuertem Wasser auf die Pole eines starken Magneten stellt und dann die Poldrähte einer Volta'schen Säule genau über den magnetischen Polen in die Flüssigkeit taucht, so geräth das Wasser in Bewegung, indem es beständig von den Magnetpolen zu fliehen strebt. Hierin liegt wieder eine Bestätigung der Thatsache, daß die Theilchen der Materie von der elektrischen und magnetischen Kraft erregt werden.

Auch auf dem Gebiete der magnetischen Erscheinungen giebt es Beobachtungen, die darauf schließen lassen, daß ihnen ähnliche molekulare Veränderungen der Materie zu Grunde liegen, wie der elektrischen. Man hat nachgewiesen, daß Stahl und Eisen durch Magnetisirung an ihrer Elasticität einbüßen, daß eine Eisenstange sich ein wenig verlängert; man will sogar beobachtet haben, daß eine durch ihr eigenes Gewicht leicht gekrümmte Stange sich wieder richtet, wenn sie magnetisirt wird. Schon das läßt erwarten, daß auch der Magnetismus in Wechselbeziehung zu allen andern Kräften stehen muß. Nur vermag er sie freilich nicht eigentlich zu erzeugen, sondern nur eine Veränderung in der Richtung ihrer Bewegungen hervorzurufen. Der Magnetismus ist gleichsam ein Zustand statischen Gleichgewichts, ähnlich dem einer Wage mit gleichbelasteten Armen. Ein Magnet kann darum auch nur Bewegungen erzeugen, wenn er selbst bewegt wird, oder wenn andere Körper in Bezug auf ihn bewegt werden. Nur in einem Falle befinden sich auch die Moleküle eines magnetischen Körpers in einer gewissen Bewegung, nämlich während des Entstehens und Vergehens, des Anwachsens und Abnehmens der magnetischen Kraft. In diesem Zustande der Veränderung kann der Magnetismus daher auch andere Kräfte hervorbringen. Eine Eisenstange wird unter dem Einflusse eines plötzlich magnetisirten oder entmagnetisirten starken Elektromagneten sehr merklich erwärmt.

Die Art der molekularen Bewegung, welche der Elektricität und dem Magnetismus zu Grunde liegt, kennt man noch viel zu wenig, um zu entscheiden, ob sie eine von jeder andern wesentlich abweichende ist, oder ob sie vielleicht mit der den chemischen Erscheinungen zu Grunde liegenden zusammenfällt und nur durch die bestimmte Richtung, in welcher sie stets wirkt, ihre Besonderheit erhält. Jedenfalls berechtigt das Vorhandensein dieser Bewegung, auch von einer Ver-

wandlung der elektrischen und magnetischen Kraft in andere Kräfte zu sprechen, und gerade sie werden wir hier als eine der thätigsten kennen lernen, die überall zu vermitteln sucht und darum äußerlich gern als Quelle anderer Kräfte, insbesondere der Wärme und der chemischen Verwandtschaft erscheint.

Mechanische Wirkungen der Elektricität und des Magnetismus.

Wenn Elektricität und Magnetismus auf einer inneren Bewegung der Materie beruhen, so ist es selbstverständlich, daß sie auch im Stande sein müssen, Bewegung hervorzurufen. In der That vermögen wir die mechanischen Wirkungen, welche der elektrische Funke beim Durchgange durch nichtelektrische Körper erzeugt, das Durchbohren eines Kartenblattes, das Zerbrechen einer Glasscheibe und vor Allem die zerschmetternden Wirkungen eines Blitzschlags kaum anders zu erklären. Sie sind offenbar die Folgen einer sehr plötzlich oder sehr unregelmäßig in einem Körper erregten Vibrationsbewegung, welche nicht alle Theile gleichmäßig fortzupflanzen im Stande sind. Sie erinnern ganz an die ähnlichen Wirkungen der Schallschwingungen, die auch nicht blos benachbarte Körper erschüttern, sondern bekanntlich auch spröde Körper, wie Glas, durch ihren heftigen Stoß zerbrechen können.

Diese Aehnlichkeit mit den Schallschwingungen wird noch dadurch erhöht, daß die elektrische und magnetische Bewegung wirklich in Schallschwingungen übergehen kann, daß elektrisirte und magnetisirte Metalle wenigstens sowohl Töne erzeugen, als in der Nähe erzeugte musikalische Töne harmonisch wiedergeben können. Besonders ist dieses Tönen an Eisenstäben beobachtet worden, welche sich in einer Magnetisirungsspirale befinden, wenn der Strom, welcher diese durchläuft, abwechselnd unterbrochen und wieder hergestellt wird. Der gehörte Ton ist ganz unabhängig von der Geschwindigkeit, mit welcher die Unterbrechungen auf einander folgen, und entspricht stets genau dem Tone, welcher auch durch Streichen des Stabes in der Richtung seiner Axe erhalten wird, also seinem Longitudinaltone. Fast immer ist dieser Ton zugleich von einem Stoße und trockenen Geräusche begleitet, das aber durchaus nicht den Charakter eines bestimmten musikalischen Tones hat. Stahlstäbe geben gleichfalls sehr schöne Töne; Stäbe von Zink, Kupfer, Messing, Glas ꝛc. aber bleiben selbst bei Anwendung sehr

kräftiger galvanischer Säulen stumm. Wenn sich der tönende Stab nicht in der Axe der Spirale befindet, so ist der Longitudinalton nicht ganz rein und wird von Querschwingungen begleitet, die dem bloßen Auge sichtbar werden, die sich aber nur zu einem so schwachen Transversaltone vereinigen, daß man ihn nur hören kann, wenn er durch Resonanz verstärkt wird, also wenn man etwa das Ohr auf das den Apparat tragende Brett legt.

Interessant sind die Erscheinungen an einem Apparate, welchen der Physiker Reis im Jahre 1860 in Frankfurt a. M. zuerst vorzeigte, und dem er den Namen des Telephons gab. Es besteht aus einem hölzernen Kasten, in dessen Deckel sich eine kreisförmige Oeffnung befindet, die durch eine darüber gespannte elastische Membran geschlossen ist. Auf die Mitte dieser Membran ist ein kleines Platinplättchen aufgekittet, welches durch ein dünnes Metallstreifchen mit dem einen Poldrahte einer kräftigen galvanischen Säule in Verbindung steht. Ueber dem Platinplättchen befindet sich ein Blechstück, das mit dem zweiten Poldrahte leitend verbunden ist und unten einen kleinen Platinstift trägt. Sobald nun die Schallwellen eines hinlänglich kräftigen Tons durch die Mündung eines seitwärts angebrachten akustischen Rohrs in diesen Kasten eintreten, wird die elastische Membran in Schwingungen versetzt. Jede eintretende Verdichtungswelle hebt dann das Platinplättchen und bringt es mit dem darüber befindlichen Platinstifte in Berührung, während jede Schwingung der Membran nach unten es wieder von diesem entfernt. Bei jeder Vibration der Membran erfolgt also eine Unterbrechung des elektrischen Stromes, die sich auch durch ein kleines Fünkchen an der Unterbrechungsstelle zu erkennen giebt. Mit diesem Apparate steht nun ein zweiter, der sogenannte Reproductionsapparat in Verbindung. Es ist eine auf einem Resonanzboden befestigte Drahtspirale, durch welche ein Stahldraht von der Dicke einer Stricknadel gesteckt ist, und deren Drahtenden mit den Leitungsdrähten der galvanischen Säule verbunden sind. Sobald vor der Mündung des Kastens ein Ton gesungen oder durch eine Orgelpfeife angeblasen wird, hört man in dem Reproductionsapparate, in wie weiter Entfernung dieser auch aufgestellt sein mag, zunächst ein eigenthümliches knarrendes Geräusch, das von der Höhe des erzeugten Tones ganz unabhängig ist, außerdem aber den Ton selbst durch den Stahldraht deutlich wiedergegeben. Nach den Beobachtungen von Reis findet dieses elektrische Wiedertönen in der Ferne bei allen Tönen zwischen F und dem doppeltgestrichenen f statt.

Poggendorf hat ein ähnliches Tönen beobachtet, wenn eine kräftige Magnetisirungsspirale mit einem Cylinder von Eisenblech umgeben wird. Wenn dieser Cylinder nicht ganz geschlossen, sondern durch einen senkrechten Spalt getrennt ist, doch so, daß sich die Ränder noch lose berühren, so wird der Ton noch kräftiger, oder es kommt vielmehr ein neuer Ton hinzu, der offenbar durch die Inductionsströme hervorgerufen wird, welche die Unterbrechung des die Spirale durchlaufenden Stromes in der Masse der Hülse erzeugt.

Nach Werthheim's Untersuchungen erfährt jeder Eisenstab im Augenblicke der Magnetisirung eine kleine Verlängerung, welche unzweifelhaft die Ursache der Tonbildung ist. Freilich beträgt diese Verlängernng nach Joule's Messungen höchstens den 270,000sten Theil seiner Länge.

Wenn schon das galvanische Tönen einen unwiderleglichen Beweis für das Vorhandensein einer Bewegung in der elektrisirten oder magnetisirten Materie darbietet, die sogar, wie die Schallschwingungen zeigen, auch nach außen fortgepflanzt werden kann, so giebt es doch noch weit verbreitetere Erscheinungen, in denen weit deutlicher noch die mechanische Wirksamkeit dieser Naturkräfte hervortritt. Es sind gerade die Erscheinungen, welche zuerst die Aufmerksamkeit erregten und zur Kenntniß dieser Naturkräfte führten, die Erscheinungen der elektrischen und magnetischen Anziehung und Abstoßung. Wenn die Korkkügelchen oder Goldblättchen eines Elektrometers von einer geriebenen Siegellack- oder Glasstange angezogen oder abgestoßen werden, wenn die von einer Spitze ausströmende Elektricität durch Abstoßung der Lufttheilchen einen elektrischen Wind erregt, und wenn wir das elektrische Flugrad in Folge der Rückwirkungen dieses Windes sich umdrehen sehen, so haben wir darin ganz handgreifliche Bewegungen. Wenn ein elektrisches Pendel zwischen zwei elektrischen Leitern hin und her schwingt, so ist gar nicht zu bezweifeln, daß man auch dieses Pendel an einen Hebel befestigen könnte, der die Bewegung auf ein Rad übertragen und dadurch einen mechanischen Effect hervorbringen würde. Daß aber bei diesen Bewegungen auch wirklich eine Umwandlung der Elektricität in Bewegung stattfindet, daß dabei wirklich auch ein Verlust an elektrischer Kraft eintritt, hat Grove durch einen sinnreichen Versuch gezeigt. Wir haben bereits gesehen, daß man durch eine sogenannte Maßflasche, die man in die Leitung einer Elektrisirmaschine einschaltet, im Stande ist, gewissermaßen die Elektricitätsmenge zu messen, mit welcher eine andere Leydener Flasche sich füllt. Mit dieser

Leydener Flasche bringt man aber zugleich ein Elektrometer in Verbindung, am besten ein sogenanntes Cuthberson'sches, das die Einrichtung einer kleinen Schnellwage hat, also in seiner Bewegung wirklich eine kleine Arbeit verrichtet, die in der Hebung eines kleinen Gewichts besteht. Zunächst verhindert man aber dieses Elektrometer an der Bewegung, indem man seine beiden Knöpfchen, die durch ihre gegenseitige Beziehung das Schwanken der Wage bewirken, durch einen dazwischen gespannten straffen Draht festhält. Indem man nun die Leydener Flasche ladet, zählt man die Entladungen der Maßflasche, welche erforderlich sind, bis die größere Flasche sich gegen eine in bestimmter Entfernung aufgestellte Entladungskugel entladet. Die Zahl dieser Entladungen mißt bekanntlich die Elektricitätsmenge, welche die große Flasche von der Maßflasche empfangen hat. Darauf befreit man nun das Elektrometer von dem Drahte, der es an der Bewegung hinderte, und ladet abermals die Leydener Flasche. Nach derselben Zahl von Entladungen der Maßflasche muß die große Flasche natürlich dieselbe Elektricitätsmenge empfangen haben, wie vorher. Gleichwohl erfolgt die Entladung jetzt nicht; wohl aber bewegt sich die Wage des Elektrometers. Die Elektricität, die anscheinend verloren gegangen ist, hat sich hier in die mechanische Arbeit verwandelt, welche die Wage schwanken machte und das Gewicht in die Höhe hob.

Die elektrische Anziehung und Abstoßung ist freilich nicht geeignet, eine praktische Anwendung als neue Arbeitskraft zu finden. Eben so wenig vermag es die Anziehung und Abstoßung, welche elektrische Ströme oder stromführende Drähte auf einander ausüben. Aber diese letzteren Wirkungen können doch wenigstens bereits in dauernde kreisförmige Bewegungen umgewandelt werden.

Nach dem Ampère'schen Gesetze ziehen parallel neben einander herlaufende Ströme einander an, wenn sie gleichgerichtet, stoßen aber einander ab, wenn sie entgegengesetzt gerichtet sind. Gekreuzte Ströme streben stets, einander parallel zu stellen, und zwar so, daß sie in gleicher Richtung strömen. Es findet daher Anziehung zwischen den Theilen beider Ströme statt, welche nach dem Kreuzungspunkte hingehen, wie zwischen denen, welche vom Kreuzungspunkte abgehen, dagegen Abstoßung zwischen einem nach dem Kreuzungspunkte hin, und einem andern von ihm weg gerichteten Strome. Ist einer dieser Ströme oder von einem Strome durchlaufenen Leiter beweglich, so muß natürlich diese Anziehung und Abstoßung in wirkliche Bewegung übergehen. Denken wir

uns einen festen Strom (ab, Fig. 164) und einen zweiten, in senkrechter Richtung von diesem wegströmenden beweglichen Strom (cd), der aber nur parallel mit sich selbst verschiebbar ist, so wird offenbar auf der einen Seite (zwischen cd und mb) Anziehung, auf der andern (zwischen cd und am) Abstoßung stattfinden. Da aber der bewegliche Strom nur nach einer Richtung hin beweglich ist, so werden diese anziehenden und abstoßenden Kräfte auch nur so weit zur Geltung kommen, als sie in dieser Richtung wirken. Sie werden nach dem Gesetze des Kräfteparallelogramms sich in Kräfte zerlegen, die parallel mit dem verschiebbaren Strome, und in solche, die senkrecht auf ihn wirken. Nur die letzteren werden Erfolg haben und vereinigt den beweglichen Strom (cd) in der Richtung des festen (ab) forttreiben. Ist dieser feste Strom zugleich ein kreisförmiger, so wird der bewegliche sich beständig im Kreise herumdrehen müssen. Diese Rotation eines Stromes unter dem Einflusse eines andern läßt sich durch einen einfachen Apparat zur Anschauung bringen. Er besteht aus einem bügelförmig gebogenen Leitungsdrahte (ced, Fig. 165), der vermittelst einer (bei e) in ein Quecksilbernäpfchen tauchender Stahlspitze auf dem Gipfel eines Metallsäulchens (f) schwebt und mit seinen beiden verticalen Armen (c und d) unten in eine kreisförmige Quecksilberrinne (r) eintaucht. Das Metallsäulchen wird mit dem einen, das Quecksilber der Rinne mit dem andern Pole einer galvanischen Säule in leitende Verbindung gesetzt, so daß ein Strom in dem Metallsäulchen aufsteigt und in den Armen (c und d) des um e drehbaren Leiters herabsteigt. Die Quecksilberrinne wird aber mit einer Magnetisirungsspirale (ab) aus übereinander gewickeltem Kupferdraht oder noch besser Kupferblechstreifen umgeben, deren

Fig. 164.

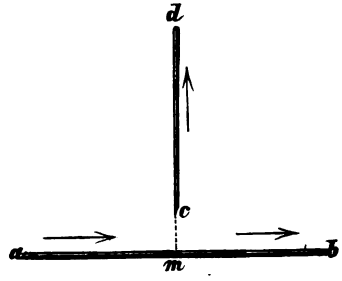
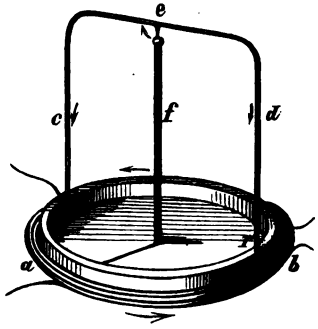


Fig. 165.



Enden mit den Polen einer zweiten galvanischen Säule verbunden werden. Wir haben hier also einen festen kreisförmigen Strom in der Magnetisirungsspirale und einen senkrecht darauf gerichteten, um sich selbst drehbaren Strom in dem bügelförmigen Leiter. Beide können ihre Wirkung auf einander nicht verfehlen, und so sehen wir den Leitungsdraht beständig um das Metallsäulchen, auf dem er schwebt, rotiren.

Nach der Ampère'schen Theorie verhält sich, wie wir (S. 498) gesehen haben, ein Magnet genau so, wie ein senkrecht auf seine Axe gerichteter elektrischer Kreisstrom. Es ist also selbstverständlich, daß auch Magnete auf elektrische Ströme und Magnete unter einander gerade solche anziehende und abstoßende Wirkungen äußern, gerade so unter geeigneten Umständen einander in Rotation versetzen müssen, wie gekreuzte elektrische Ströme. Denken wir uns in dem eben erwähnten Apparate (Fig. 165) an Stelle der Magnetisirungsspirale und ihres elektrischen Kreisstroms den Pol eines kräftigen Magneten, etwa unmittelbar neben dem Metallsäulchen, angebracht, so wird dieser genau so wirken, wie jener Strom, und den Leitungsdraht zwingen, zu rotiren. Umgekehrt wird aber auch jeder Magnet um seine Axe rotiren, wenn man durch die eine Hälfte seiner Axe einen elektrischen Strom auf- oder niederströmen läßt, sobald seine Aufhängung überhaupt nur eine solche Rotation gestattet.

Auf dieser gegenseitigen Beeinflussung der elektrischen Ströme und der Magnete beruht auch die Rotationserscheinung des sogenannten Barlow'schen Rädchens. Es ist ein sternförmiges metallisches Rad, das mit seinen Spitzen zwischen den Polen eines kräftigen Hufeisenmagneten in eine Quecksilberrinne eintaucht. Sobald die metallische Axe des Rades mit dem einen, die Quecksilberrinne mit dem andern Pole einer galvanischen Säule in Verbindung gebracht wird, so geräth das Rädchen in eine lebhafte Rotation. Die Richtung dieser Rotation ist theils von der Lage der magnetischen Pole, theils von der Stromrichtung abhängig. Sie erfolgt, vom Südpole des Magneten aus betrachtet, nach rechts, wenn der Strom aus dem Quecksilber durch die Radspeichen aufwärts geht, sie erfolgt im umgekehrten Sinne, wenn der Strom abwärts durch die Radspeichen in das Quecksilber geht.

Der Elektromagnetismus als Triebkraft.

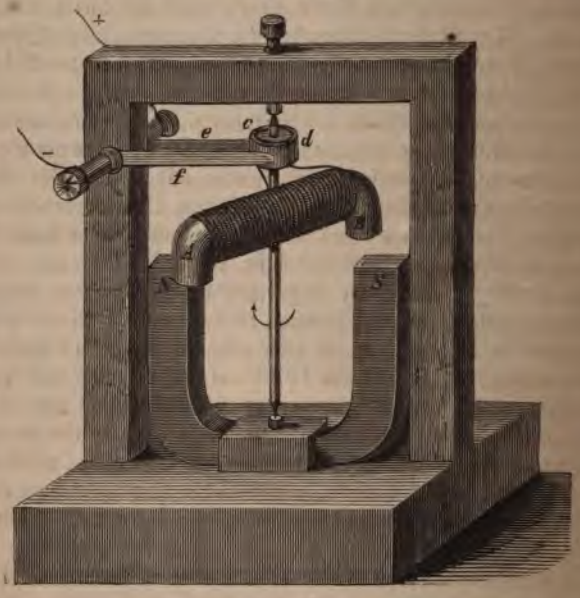
So interessant auch die auf der richtenden Kraft des elektrischen Stromes beruhenden Rotationserscheinungen sein mögen, so konnten

sie doch ihres geringen mechanischen Effectes wegen niemals den Gedanken an eine praktische Nutzbarmachung erwecken. Wohl aber konnte dieser Gedanke entstehen, als man die kräftigen Anziehungs- und Abstoßungserscheinungen kennen lernte, welche der Elektromagnet darbietet. Hier sah man sich in den Stand gesetzt, in jedem Augenblicke in einem Stücke weichen Eisens eine Kraft zu erzeugen, vermöge deren es Hunderte von Pfunden an sich zieht; und nichts stand im Wege, durch Anwendung größerer Eisenstäbe, Vermehrung der Drahtwindungen, Verstärkung der elektrischen Batterie diese Kraft auf eine beliebige Höhe zu steigern. Die bloße Richtung des die Drahtspirale durchströmenden elektrischen Stromes bedingt überdies die Lage der Pole des Magneten; mit einer Umkehrung des Stromes wechseln auch die Magnetpole, wechseln also auch Anziehung und Abstoßung. Eine solche, augenscheinlich so leicht durch einen regelmäßigen Polwechsel zu bewirkende, regelmäßige Abwechselung zwischen anziehender und abstoßender Wirkung, gerade so wie Wind, Wasser und Dampf, zum Betriebe von Maschinen zu benutzen, lag zu nahe, als daß der Versuch nicht gemacht worden wäre. Dal Negro war wohl der Erste, der diesen Gedanken zur Ausführung brachte. Schon im Jahre 1834 setzte er einen Apparat in Thätigkeit, welcher in der Minute 180 Gramm 1 Meter hoch hob. Allgemeiner bekannt aber wurde diese neue Triebkraft erst durch Jacobi in Petersburg, der im Jahre 1839 auf einer außer ihm noch von 14 Personen besetzten Schaluppe von 28 Fuß Länge und $7\frac{1}{2}$ Fuß Breite, die nach Art der Dampfschiffe mit 8 Schaufelrädern versehen und allein durch elektromagnetische Kraft getrieben war, die Newa befuhr. Eine Grove'sche Batterie von 64 Plattenpaaren reichte hin, diesem Boote dieselbe Schnelligkeit zu ertheilen, die ein Dampfboot bei gleicher Last besitzt.

Das Prinzip, auf welchem ein solcher elektromagnetischer Bewegungsapparat beruht, ist am einfachsten an Ritchie's rotirendem Elektromagneten (Fig. 166, S. 622) zu erkennen. Er besteht zunächst aus einem hufeisenförmigen Stahlmagneten, der auf einem Brette senkrecht mit nach oben gerichteten Polen befestigt ist. Zwischen den beiden Schenkeln dieses Magneten befindet sich eine senkrechte stählerne Axe, an welche in horizontaler Lage ein Elektromagnet befestigt ist, dessen Pole bei der Rotation um diese Axe genau über den Polen des Stahlmagneten hinweggehen. Ueber diesem Elektromagneten befindet sich ein sogenannter Stromwender oder Commutator, der aus einer auf der stählernen Axe befestigten Holzscheibe besteht, welche von zwei,

von einander getrennten Halbringen aus Messing umgeben ist. einen dieser Halbringe (c) ist das eine, an den andern (d) das and Ende der Drahtwindungen festgelöthet, welche den Eisenkern des Elekt magneten umgeben. Zugleich aber legen sich von entgegengesetzten S ten an diese Halbringe zwei Metallfedern (e und f) an, welche du Klemmschrauben mit den beiden Poldrähten der galvanischen Batte verbunden sind.

Fig. 166.



In welcher Weise dieser Apparat seine Bewegung erhält, lä sich aus dieser Einrichtung leicht ersehen. Gesetzt, die vordere Feder sei mit dem negativen, die hintere Feder e mit dem positiven Pole d Batterie verbunden, und die vordere Feder schleife an dem Halbringe so wird der positive Strom durch die Feder e zum Halbringe d und v diesem in die Windungen des Elektromagneten gelangen, aus d Windungen aber zum Halbringe c und von diesem durch die Feder austreten. In diesem Falle ist das vordere Ende (A) des elektrisch m strömten Eisens ein Südpol und wird daher vom Nordpole des Stab

magneten angezogen, während das hintere Ende (B) ein Nordpol ist und von dem Südpole des Stahlmagneten angezogen wird. Der Elektromagnet muß sich daher in der durch den Pfeil angegebenen Richtung drehen. In dem Augenblicke aber, wo die Pole der beiden Magneten über einander hingleiten, geht auch jede der Federn auf einen andern Halbring über. Die vordere Feder f berührt jetzt den Halbring d, die hintere Feder e berührt den Halbring c. Der Strom geht daher in entgegengesetzter Richtung durch die Windungen des Elektromagneten, seine Pole werden umgekehrt, A, jetzt ein Nordpol, wird von N abgestoßen, B, jetzt ein Südpol, wird von S abgestoßen. Der Elektromagnet setzt daher seine Drehung in derselben Richtung fort. So oft seine Pole über denen des festen Magneten zu stehen kommen, tritt dieser Polwechsel ein, und die Rotation wird so zu einer ununterbrochenen.

Die beschriebene Einrichtung ist im Wesentlichen die aller Apparate, welche die Benutzung des Elektromagnetismus als Triebkraft zum Zwecke haben. Unwesentlichere Abänderungen sind natürlich in Menge möglich. So kann der feste Stahlmagnet durch einen festen Elektromagneten ersetzt werden. Ebenso kann die Zahl der Magnete vermehrt werden. So hatte Jacobi schon statt des einen festen und statt des einen beweglichen Elektromagneten 4 feste und 4 rotirende Elektromagneten in Anwendung gebracht. Ferner kann die Umdrehungsaxe eine horizontale Lage erhalten, wie es gleichfalls schon im Jacobi'schen Apparate der Fall war. Eine wesentliche Verbesserung hat erst Stöhrer bei seinen Apparaten eingeführt. Es stellte sich nämlich sehr bald der nachtheilige Umstand heraus, daß der Polwechsel der Elektromagnete nicht momentan stattfindet. Das Eisen bewährt auch der magnetischen Kraft gegenüber eine gewisse Trägheit; auch das weichste Eisen vermag seine Pole nicht so schnell zu wechseln, als man den elektrischen Strom in der Spirale umkehren kann. Stöhrer wußte diesen Uebelstand dadurch zu beseitigen, daß er die Rotation des Elektromagneten nicht durch den Wechsel seiner Pole selbst bewirkte, sondern dadurch, daß er ihn innerhalb einer elektrischen Spirale rotiren ließ, deren Pole gewechselt wurden.

Unter den verschiedenen elektromagnetischen Motoren sind es die von Wagner in Frankfurt a. M. und von Stöhrer in Leipzig, welche die größte Aufmerksamkeit auf sich gezogen haben. Bei beiden wird in der angegebenen Weise unmittelbar eine rotirende Bewegung erzeugt. Der Amerikaner Page dagegen hat neuerdings einen andern Apparat construirt, bei welchem zunächst eine hin- und her- oder auf- und nieder-

gehende Bewegung erzeugt wird, ähnlich der Kolbenbewegung bei der Dampfmaschine, die auch, ähnlich wie dort, durch Triebstange und Schwungrad in eine rotirende Bewegung umgewandelt wird. Die hin- und hergehende Bewegung wird hier durch zwei hinter einander liegende oder neben einander stehende Magnetisirungsspiralen bewirkt, durch welche abwechselnd ein magnetischer Strom geleitet wird, so daß abwechselnd von der einen und von der andern ein Eisenstab hineingezogen wird. Bei hinter einander liegenden Spiralen sind die Eisenkerne durch Messingstücke verbunden und setzen sich unmittelbar in die Triebstange fort. Bei neben einander stehenden Spiralen sind die Eisenkerne durch einen Balancier verbunden, der die Triebstange bewegt.

Trotz des großen Aufsehens, welches die elektromagnetischen Motoren bei ihrem ersten Auftreten machten, haben sie doch eine praktische Bedeutung nicht zu erlangen vermocht. Der mechanische Effect steht in einem zu ungünstigen Verhältnisse zu der aufgewandten elektrischen Kraft und zu den Kosten des chemischen Processes, aus welchem diese zuvor geschaffen werden muß. Namentlich ist es die Schwächung der Stromstärke während der Thätigkeit der Maschine, wodurch ihr Nutzeffect beeinträchtigt wird. Jeder Magnet oder Elektromagnet, der sich in der Nähe einer geschlossenen Drahtspirale bewegt, ruft nämlich in derselben, wie wir gesehen haben, einen Inductionsstrom hervor, welcher gerade die entgegengesetzte Richtung des die Spirale ursprünglich durchlaufenden hat. Noch schlimmer aber ist das Mißverhältniß zwischen dem Nutzeffecte und dem durch den chemischen Proceß bedingten Stoffverbrauche. Eine elektromagnetische Maschine, welche nur die Arbeit von einer Pferdekraft leisten soll, erfordert in einer Stunde nicht weniger als eine Consumtion von $7^1/_2$ Pfund Zink, abgesehen von dem Verbrauche an Säuren. Die Behauptung Page's, daß die elektromagnetische Triebkraft in seinen Apparaten weniger kostspielig sei, als die Dampfkraft, verdient daher dieser Thatsache gegenüber wenig Glauben. Die Verwandlung des Elektromagnetismus in mechanische Kraft kann also, soweit es auf die Größe des Effectes ankommt, im Allgemeinen nicht zu den günstigen Verwerthungen der Naturkraft gezählt werden.

Die elektrische Telegraphie und die elektrischen Uhren.

Nicht die Größe der Wirkung, sondern die Schnelligkeit der Verbreitung ist das Charakteristische der elektrischen Kraft. Die Entladung

einer elektrischen Batterie durch einen meilenlangen Draht sich mit unmeßbarer Geschwindigkeit fortpflanzen, Funken überspringen, Korkkügelchen in Bewegung gerathen zu sehen in so weiter Entfernung von der Kraftquelle selbst, das war etwas so Neues, so Außerordentliches, daß es gewiß das größte Staunen erregen mußte. Schon in der zweiten Hälfte des vorigen Jahrhunderts kam man daher auf den Einfall, diese überaus schnelle Bewegung zum Träger des Gedankens zu benutzen, und die durch sie erzeugten Funken oder Bewegungen als Zeichen für Mittheilungen in die Ferne zu gebrauchen. Alle jene Versuche aber, die von Lesage im Jahre 1774, von Reißer im Jahre 1794, von Salva und Betancourt im Jahre 1798 gemacht wurden, scheiterten an den unüberwindlichen Schwierigkeiten, welche die damals allein bekannte Reibungselektricität entgegenstellte. Diese Schwierigkeiten lagen namentlich in der Abhängigkeit der Reibungselektricität von dem Feuchtigkeitszustande der Luft, in der Unsicherheit der Beobachtung flüchtiger Funkenerscheinungen oder leise bewegter Korkkügelchen und vor Allem in der Unmöglichkeit einer vollständigen Isolirung der vielen erforderlichen Drahtleitungen.

Eine neue Hoffnung für eine elektrische Zeichensprache in die Ferne schien durch die Entdeckung des Galvanismus zu erwachsen. Man war jetzt einerseits im Stande, stärkere Ströme zu erzeugen, welche sich ungeschwächt durch längere Drähte leiten ließen, und man hatte andererseits in den physiologischen und chemischen Wirkungen des Galvanismus neue Mittel für eine deutliche Zeichengebung. Der Erste, der von dieser neuen Kraft einen solchen Gebrauch machte, der Erste überhaupt, der einen wirklichen elektrischen Telegraphen in Ausführung brachte, war Sömmering in München. Sein Apparat, den er im Jahre 1809 der Akademie der Wissenschaften in München vorzeigte, beruht auf der Zeichengebung durch Wasserzersetzung. 24 durch eine Kautschuk- oder Firnißlösung isolirte Drähte endigten an der entfernten Station in einem Wasserbehälter, und über jedem vergoldeten Drahtende war ein kleines, mit Wasser gefülltes Gläschen gestülpt, das mit einem Buchstaben bezeichnet war. Wurden zwei dieser Drähte mit den Polen einer Volta'schen Säule verbunden, so wurde durch die Zersetzung des Wassers an ihren Enden Wasserstoff- und Sauerstoffgas entwickelt. In dem einen Gläschen stieg das Wasserstoff-, in dem andern das Sauerstoffgas empor, das erstere in doppelt so großer Menge, als das letztere. Es war daher leicht, beide Gase zu unterscheiden, und so konnte man stets zwei Buchstaben zugleich signalisiren, indem man als den

voranstehenden den durch das Wasserstoffgas angezeigten gelten ließ, dessen Draht daher mit dem negativen Pole verbunden sein mußte. Auch einen Wecker hatte Sömmering an seinem Apparate angebracht, um die Aufmerksamkeit des fernen Beobachters zu erregen. Er bestand aus einem kleinen zweiarmigen Hebel, dessen kürzerer Arm eine leicht herabgleitende Messingkugel trug, während das Ende des längeren löffelförmig ausgehöhlt war und genau über einer der Drahtspitzen stand. Sobald die Säule in Thätigkeit gesetzt wurde, sammelte sich das Wasserstoffgas unter der Höhlung des Hebels, hob ihn und senkte dadurch den kürzeren Arm, der nun seine Kugel auf einen andern Hebel fallen ließ, welcher die Arretirung eines gewöhnlichen Weckers mit Uhrwerk aushob.

So sinnreich diese telegraphische Einrichtung auch war, so eignete sie sich doch nicht zu einer Einrichtung im Großen, theils wegen der Kostspieligkeit der vielen Drahtleitungen, theils wegen der Schwierigkeit, die Gasentwicklung in den zahlreichen Gläsern beständig zu verfolgen. Noch weniger empfehlen sich freilich die physiologischen Wirkungen des galvanischen Stromes zur Zeichengebung. Gleichwohl fanden auch diese im Jahre 1839 durch Vorselmann de Heer in Deventer eine Verwendung. Sein origineller Apparat bestand aus je 5 metallischen Tastenpaaren für jede Hand. Drückte man auf der einen Station gleichzeitig zwei Tasten nieder, so tauchten damit verbundene Kupferstreifen in Gefäße mit Quecksilber, welche mit den Polen der Batterie zusammenhingen, nahmen daher den galvanischen Strom auf und leiteten ihn durch Drähte zu zwei entsprechenden Tasten der andern Station fort. Lagen dort die Finger des Beobachters auf sämmtlichen 10 Tastenpaaren, so mußte er in 10 Fingern eine Erschütterung empfangen. Die verschiedenen Combinationen dieser Erschütterungen bildeten die Zeichen. Beschränkte man sich darauf, gleichzeitig nur je einem Finger der rechten und einem Finger der linken Hand Erschütterungen mitzutheilen, so erhielt man schon 25 Verbindungen mit 25 Zeichen, die als Buchstaben gelten konnten. Ließ man den Strom nur durch zwei Finger der linken Hond gehen, so erhielt man wieder 10 Zeichen für die Ziffern, und andere 10 Zeichen für den gewöhnlichen Depeschendienst ergab die rechte Hand. Natürlich konnte man nicht verlangen, daß der Beobachter beständig seine Finger auf den Tasten haben sollte, auch wenn der Apparat nicht in Thätigkeit war. Deshalb verband man die 5 Tasten jeder Claviatur in einem langen Drahte und befestigte an den Enden beider Drähte metallene Platten.

Mit diesen Platten in den Händen oder irgend wo an seinem Körper konnte der Beobachter getrost zu Bette gehen oder sich an den Tisch setzen; die Erschütterung, die er empfing, sobald der Apparat der andern Station seine Thätigkeit begann, weckte ihn gewiß aus dem tiefsten Schlafe und ließ ihn Essen und Trinken vergessen. Aber abgesehen von einem so unfreundlichen Wecker, und abgesehen von den Kosten der zehnfachen Drahtleitung, stellte sich bei diesen Telegraphen ein Uebelstand ein, der um so weniger zu beseitigen war, als er nicht in dem Apparate selbst, sondern in der menschlichen Natur begründet lag. Bei einiger Schnelligkeit des Telegraphirens würde es unmöglich sein, sich jeden Augenblick zum Bewußtsein zu bringen, welche Fingerspitzen eben die Erschütterung erhalten haben, welche Buchstaben also signalisirt sind. Es wird gleichsam ein zweiter Telegraph in Anspruch genommen, welche die den Fingerspitzen gemachten Mittheilungen an das Gehirn zu übertragen hat, und das erhöht die Unsicherheit und erschwert die Ueberwachung der Arbeit des Telegraphen. Ueberdies hat die Erfahrung von Arbeitern, die mit Prüfung der Isolirung von Drähten beschäftigt waren, gezeigt, daß häufig wiederholte galvanische Schläge die Nerven allmälig ganz unempfindlich machen.

So erfolglos auch diese Versuche waren, so bewiesen sie doch, bis zu welcher Höhe bereits längst das Bedürfniß eines neuen geistigen Verkehrsmittels sich gesteigert hatte. Die Feuersignale der Alten reichten für den lebendigen Völkerverkehr der Neuzeit nicht mehr aus. In Frankreich waren sie bereits zur Zeit der Schreckensherrschaft durch die optischen Telegraphen Chappe's verdrängt worden, auf Hügeln oder hohen Gebäuden errichtete Masten, die durch die verschiedenen Stellungen seitlich angebrachter Flügel weithin sichtbare Zeichen gaben. Seit dem Jahre 1832 hatte man auch in Deutschland mit der Einführung derselben begonnen. Aber ihre vielfachen Mängel, abgesehen von der Kostspieligkeit ihrer Unterhaltung, namentlich die Schwerfälligkeit und Langsamkeit ihrer Bewegungen, ihre völlige Unbrauchbarkeit bei Nebel, Regen und der Dunkelheit der Nacht versprachen ihnen keine lange Dauer. Wenn jedoch die Elektricität, deren Schnelligkeit man längst mit dem Fluge des Gedankens verglichen hatte, sie wirksam ersetzen sollte, so konnte sie es nur, wenn sie sich fähig zeigte, ähnliche deutlich sichtbare Bewegungen hervorzubringen. Oersted's Entdeckung des Elektromagnetismus im Jahre 1820 lehrte in der That diese wichtige Eigenschaft der Elektricität kennen. Es ist eine schlichte Thatsache, die den Keim einer der großartigsten Erfindungen unserer Zeit

in sich birgt, die Thatsache, daß der elektrische Strom im Stande ist, auch in weitester Entfernung die Magnetnadel abzulenken und das Eisen, das er umkreist, in einen Magnet umzuwandeln, der andere Eisenstäbe anziehen und bei Unterbrechung des Stromes wieder fallen und so eine pendelartige, in jede andere umzuwandelnde Bewegung hervorrufen kann. Die Verwandlung der Elektricität in Bewegung, so unscheinbar sie an sich ist, so wenig sie für die Mechanik nutzbar gemacht werden kann, ist durch die Schnelligkeit, mit welcher sie sich auch in weitester Ferne vollzieht, eines der mächtigsten Bewegungsmittel in der Welt geworden, das selbst über Oceane Brücken schlägt, wenn auch nicht für die Körper, so doch für die Gedanken.

Schon unmittelbar nach der Oersted'schen Entdeckung trat Ampère mit dem Vorschlage auf, die Ablenkungen der Magnetnadel für die Telegraphie zu verwenden. Für jeden Buchstaben sollte eine Magnetnadel vorhanden sein, die sein Zeichen trüge. Für gewöhnlich sollte diese durch den darüber geführten Leitungsdraht verdeckt sein, durch den elektrischen Strom aber abgelenkt, dem Beobachter mit dem signalisirten Buchstaben sichtbar werden. Zur Ausführung im Großen eignete sich auch dieser Vorschlag noch nicht wegen der zahlreichen Leitungsdrähte, die er verlangte, und die natürlich auch wieder ungewöhnlich starke Batterien voraussetzten. Die Vereinfachung der Drahtleitungen war das Verdienst des russischen Staatsraths Baron Schilling von Cannstadt, welcher im Jahre 1832 einen einzigen Multiplicator benutzte, um durch verschiedene Combinationen der nach rechts und links erfolgenden Ausschläge der Nadel alle erforderlichen Zeichen hervorzubringen. So erst war die Ausführung eines elektromagnetischen Telegraphen im Großen möglich geworden, wie sie in der That bereits im Jahre 1833 stattfand. Zwei Göttinger Professoren, Gauß und Weber, spannten elektrische Drähte vom physikalischen Cabinet zur Sternwarte über Thürme und Häuser hinweg, um großartige wissenschaftliche Untersuchungen über das Gesetz der Stärke galvanischer Ströme anzustellen. Nebenbei aber benutzten sie den Apparat zur Regelung ihrer Uhren und zur Mittheilung telegraphischer Signale. Zum ersten Male bedienten sie sich dabei statt der galvanischen Ströme der Inductionsströme, welche durch abwechselndes Hineinstoßen und Herausziehen eines starken Magnetes in einer Drahtspirale erregt wurden. Ein Commutator gewährte das Mittel, die Richtung des elektrischen Stromes schnell umzukehren und so die Magnetnadel des Multiplicators beliebig nach rechts oder links abzulenken. An einem mit der Magnet-

nadel verbundenen Spiegel wurden diese Ausschläge durch ein Fernrohr beobachtet. Die Combinationen von 2 bis 4 auf einander folgenden Ausschlägen bildeten die Zeichen für Buchstaben und Ziffern.

Die Telegraphen, welche aus diesem ersten Versuche hervorgingen, haben den Namen der Nadel-Telegraphen erhalten, weil es die Bewegungen einer Magnetnadel sind, durch welche die Signale bewirkt werden. Der Professor Steinheil in München, welcher die Göttinger Apparate gesehen hatte, unternahm es, sie durch neue Verbesserungen für den öffentlichen Verkehr geschickt zu machen. Nach seiner Ansicht sollte die Telegraphie das für Mittheilungen in die Ferne leisten, was die Sprache für Mittheilungen in der Nähe ist. Vorzugsweise ist es das Gehör, das zum Empfange von Mittheilungen bestimmt ist, und der Ton daher auch das einfachste und naturgemäßeste telegraphische Zeichen. Aber der Ton kann täuschen, kann überhört werden; er bedarf noch einer Controle, und die Zeichen müssen darum zugleich fixirt und niedergeschrieben werden. Diese Vorrichtungen sollte nun der Telegraph durch die einfachen Bewegungen, welche die Elektricität in der Ferne zu bewirken vermag, ausführen.

Steinheil errichtete seinen ersten Telegraphen im Jahre 1835 zwischen dem Academiegebäude in München, der Sternwarte zu Bogenhausen und seiner Wohnung. Er wandte zur Erregung des Stromes eine elektromagnetische Maschine an und gebrauchte statt einer Magnetnadel deren zwei, jede nur nach einer Richtung ablenkbar, um Schwingungen zu vermeiden, und am Ende mit einem Stifte versehen, welcher in einen Farbennapf tauchte und auf einem vorübergleitenden Papiere die Spuren der Nadelbewegung als schwarze Punkte hinterließ. So gelang es ihm zuerst, die elektrischen Depeschen sich selbst niederschreiben zu lassen. Er erhielt zwei Reihen von Punkten, die, zu je vier zweckmäßig verbunden, ihm alle Buchstaben und Ziffern vertraten. Aber er machte auch zugleich die Zeichen seines Telegraphen hörbar, indem er den heraustretenden Enden der Nadeln zwei Glocken von verschiedenem Klange entgegenstellte. Den zwei Reihen von Punkten entsprachen tiefe und hohe Töne, und die Buchstaben ließen sich also hören, wie lesen.

Ein Zufall führte Steinheil zu einer weitern Verbesserung der Telegraphie, die mehr als Alles dazu beigetragen hat, sie zu einem allgemeinen Völkerverkehrsmittel zu machen. Er versuchte im Jahre 1838 auf der Nürnberg-Fürther Eisenbahn die Ausführung eines schon von Gauß ausgesprochenenen Gedankens, nämlich, die Gleise einer

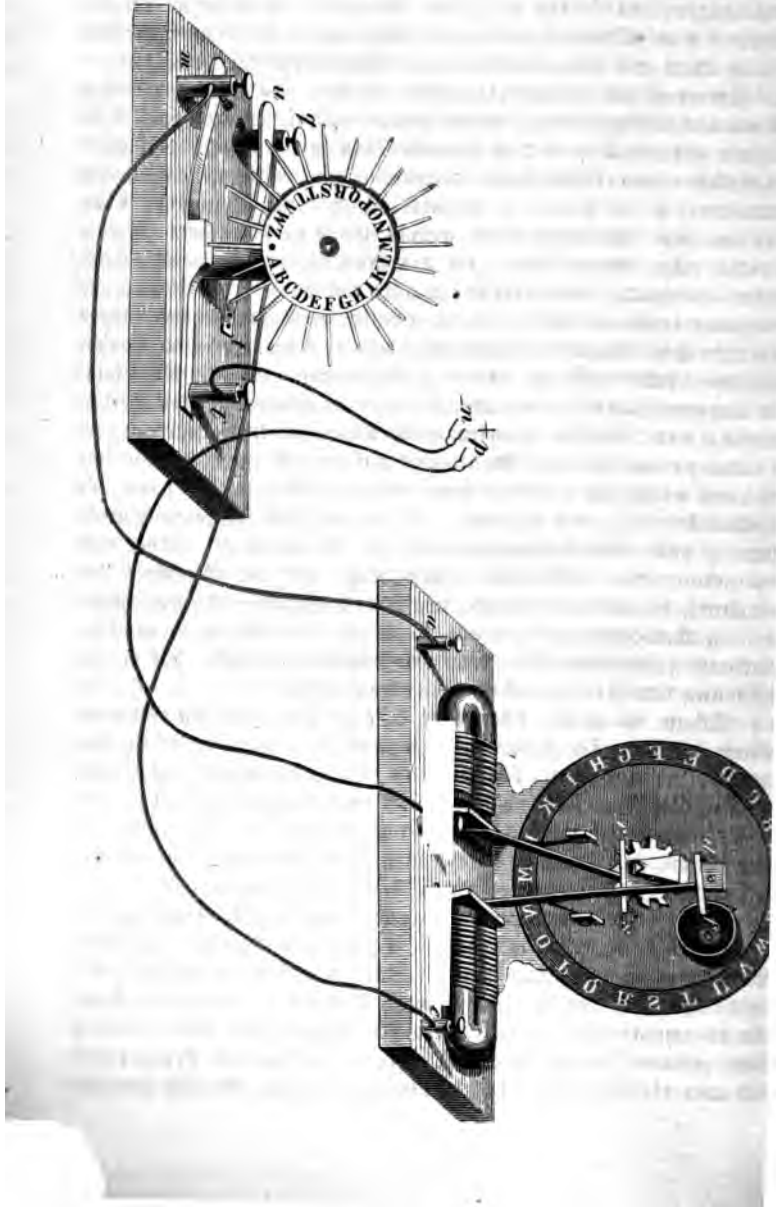
Eisenbahn als Leitung zu benutzen. Aber alle Bemühungen waren umsonst, und obwohl er versucht hatte, die Schienenstühle durch getheerte Filzlappen vom Fußboden zu isoliren, verlor doch der stärkste Strom seine Wirkung schon in geringer Entfernung in Folge der nicht zu umgehenden Leitungsfähigkeit des Erdbodens. Gerade durch dieses Mißlingen aber kam Steinheil auf den fruchtbaren Gedanken, den Erdboden selbst als Rückleitung zu benutzen und dadurch wenigstens die Hälfte des Leitungsdrahtes zu ersparen.

Während man in Deutschland so mit der Vervollkommnung der Telegraphie beschäftigt war, übergab man in England bereits trotz der großen Mangelhaftigkeit der Apparate große Telegraphenlinien dem öffentlichen Verkehr. Der Telegraph, welchen Wheatstone im Jahre 1837 zwischen London und Birmingham errichtete, erforderte noch fünf Drahtleitungen und gab seine Zeichen nur durch die elektrischen Funken des unterbrochenen Stromes. Auch der von ihm und Cooke im Jahre 1840 auf der Great-Western-Bahn in einer Länge von 39 engl. Meilen ausgeführte Telegraph hatte noch fünf Drahtleitungen, gab aber bereits seine Zeichen durch die Bewegung von fünf Magnetnadeln, von denen immer zwei auf einen Buchstaben hinwiesen. Der große Kostenaufwand der vielfachen Drahtleitungen führte indeß auch hier bald zur Vereinfachung. Man beschränkte sich auf die Anwendung von zwei Magnetnadeln zur Zeichengebung, welche, als man später nach Steinheil's Vorgange den feuchten Erdboden als Rückleitung benutzte, nur noch zwei Drähte nöthig machten. Dieser Doppelnadel-Telegraph, welcher sich durch Einfachheit und Leichtigkeit in der Handhabung und durch die Geschwindigkeit, mit welcher seine Zeichen gegeben und empfangen werden, auszeichnet, ist in England lange Zeit fast ausschließlich in Anwendung gewesen. Nicht minder einfach und sinnreich ist der vom Mechaniker Bain in Edinburg erfundene und zuerst im Jahre 1846 zwischen Edinburg und Glasgow ausgeführte Telegraph. Er beruht auf den Bewegungen eines Zeigers nach rechts und links, bedarf aber in Folge einer eigenthümlichen Einrichtung eine weit geringere Stärke der Batterie, als andere Telegraphen. Zwei halbkreisförmige Magnete sind nämlich mit ihren gleichmäßigen Polen an einander gelegt und bilden so einen Kreis, um dessen Mittelpunkt sie drehbar sind. In der Mitte eines sie verbindenden Querstabes von Messing befindet sich der Zeiger, der sich also mit dem Kreise nach rechts und links bewegt. An ihren Berührungsstellen sind die beiden Magnete von Drahtspiralen umgeben, und der Strom, welcher diese

durchläuft, giebt beiden die gleiche Drehung, die natürlich von der Richtung des Stromes abhängt. Auch dieser Bain'sche Telegraph fand in England und namentlich in Oesterreich vielfach Anwendnng.

Einen neuen Aufschwung erhielt die elektrische Telegraphie durch die sinnreiche Einrichtung, welche Wheatstone dem Wecker seines Telegraphen gab. Da er es nicht vermochte, den zu einem Hebel verlängerten Anker eines Elektromagneten unmittelbar kräftig genug auf eine Glocke wirken zu lassen, so brauchte er die elektromagnetische Kraft nur, um ein hufeisenförmiges weiches Eisen vorübergehend zu magnetisiren und seinen Anker, der das Räderwerk eines gewöhnlichen Weckers hemmte, augenblicklich anziehen und dadurch das Uhrwerk in Bewegung setzen zu lassen. Da aber dessen ungeachtet bei sehr langen Leitungen die Kraft des Elektromagneten doch nicht mehr im Stande war, die Federkraft des Ankers zu überwinden, so ließ Wheatstone seinen geschwächten Strom auch nicht mehr unmittelbar auf den Elektromagneten des Weckers einwirken, sondern verwendete ihn nur noch zur Ablenkung einer leichten Magnetnadel auf der entfernten Station und ließ durch diese eine besondere kleine Batterie schließen, die dann das Glockenwerk in Bewegung setzte. Er nannte diese sinnreiche Einrichtung, die bald überall Eingang fand, den „Uebertrager". Aber diese Verbindung der elektromagnetischen Kraft mit der Gewichts- und Federkraft, die es möglich machte, in größter Entfernung jede mechanische Kraft in Bewegung zu setzen und Wirkungen jeder Art zu veranlassen, sollte eine noch höhere Bedeutung bald dadurch gewinnen, daß sie zur Erfindung der Zeiger-Telegraphen führte.

Schon im Jahre 1839 war Edward Davy auf den Gedanken gekommen, dem Telegraphen eine ähnliche Einrichtung zu geben, wie sie das Steigrad einer Pendeluhr ist, wenn der Anker bald rechts, bald links in seine Zähne eingreift und es verhindert, bei jeder Pendelschwingung um mehr als einen Zahn vorzurücken. Es wäre nur erforderlich, das Pendel durch einen Elektromagneten zu ersetzen, an der Axe des Steigrades einen Zeiger anzubringen und um den Rand des Zifferblattes Buchstaben und Ziffern zu schreiben, um den bequemsten Telegraphen zu erhalten, da der von Buchstabe zu Buchstabe fortspringende Zeiger nur für einen Augenblick angehalten werden dürfte, um den zu signalisirenden Buchstaben auch in der Ferne lesen zu lassen. Wheatstone führte diesen Gedanken im Jahre 1840 in seinem Zeiger-Telegraphen aus. Der Zeichen empfangende Apparat oder Indicator desselben (Fig. 167, S. 632) ist mit zwei kleinen, aber mit


A B C D E F G H I K L M N O P Q R S T U W Z

sehr langem und dünnem Drahte umwickelten Elektromagneten versehen. An dem Anker des einen Elektromagneten ist ein Stab befestigt, welcher oben ein Querstäbchen trägt, dessen Endstifte (r und s) in das Steigrad mit dem Zeiger eingreifen können. Sobald der elektrische Strom die Spirale des Elektromagneten durchkreist, zieht dieser seinen Anker mit dem Stabe an; sobald der Strom ruht, reißt eine seitwärts angebrachte Feder den Anker wieder los. So wird eine pendelartige Bewegung bewirkt, und durch jedes Anziehen und Losreißen des Ankers das Rad um einen Zahn, sein Zeiger um einen Buchstaben fortgerückt. Die Drähte des Elektromagneten (a und b) stehen mit den Polen der Batterie in Verbindung, aber nur der eine unmittelbar. In den andern ist auf der entfernten Station der zeichengebende Apparat oder der Communicator eingeschaltet. Dieser besteht aus einer Scheibe mit abwechselnden langen und kurzen Speichen, welche den Buchstaben der Indicatorscheibe entsprechen. Unter dieser Scheibe befindet sich eine Messingfeder, welche in den einen Leitungsdraht eingeschaltet ist und, so lange sie frei ist, sich an ein Messingknöpfchen der Säule (m) anlegt, mit welcher der Leitungsdraht verbunden ist, sobald sie aber niedergedrückt wird, die Verbindung, also auch den Strom unterbricht. Beim Drehen der Scheibe berührt jede lange Speiche die Feder, während jede kurze sie frei läßt. Indem dadurch der Strom abwechselnd unterbrochen und wieder geschlossen wird, wird auch mit jeder Speiche des Communicators gleichzeitig der Zeiger des Indicators um einen Buchstaben fortgeschoben. Durch ein längeres Verweilen des Zeigers auf einem Buchstaben wird er als der signalisirte bezeichnet. In ähnlicher Weise trägt auch der zweite Elektromagnet des Indicators an seinem Anker einen Stab, welcher durch die Hin- und Herbewegung seines Querstäbchens (d f) den Wecker in Bewegung setzt. Seine Leitungsdrähte sind gleichfalls an der entfernten Station durch eine Feder (u t) unterbrochen; aber ein Druck mit dem Finger genügt, die Verbindung der Feder mit dem Leitungsdrahte zu bewirken und dadurch den Strom zu schließen, der den Wecker in Thätigkeit setzt.

Sinnreicher und zugleich einfacher kann die Einrichtung eines Telegraphen kaum sein als diese. Die Bewegung, welche durch die Elektricität hervorgerufen wird, ist hier die einfachste, die sich denken läßt. Ein Elektromagnet ist in den Kreis des Stromes eingeschaltet. Er wird magnetisch, wenn der Strom circulirt, und hört auf es zu sein, wenn der Strom aufhört. Magnetisch zieht er seinen Anker an, den eine Feder losreißt, sobald mit dem Strome der Magnetismus

erlischt. So schwankt der Anker hin und her zwischen der magnetischen und der Federkraft. Diese Hin- und Herbewegung ist wieder auf die einfachste Weise in die zweckmäßigste aller Bewegungen, die Kreisbewegung, verwandelt. Der schwingende Anker ist gleichsam zu einem Uhrpendel geworden, das den Zeiger durch ein Zifferblatt umtreibt, welches die Buchstaben des Alphabets trägt. Der Absender einer Depesche deutet gleichsam mit dem Finger die Zeichen an, und der Empfänger hat nur die Mühe, sie zu lesen und aufzuschreiben.

In dieser ersten und einfachsten Gestalt war der Zeiger-Telegraph freilich noch nicht ganz frei von Mängeln. Es bedurfte zunächst einer viel zu kräftigen Batterie, damit die Anziehungskraft des Elektromagneten den Gegendruck der Feder überwinde. Es war der elektrischen Kraft eine viel zu große Arbeit aufgebürdet, da sie selbst die Umdrehung des Zahnrades und des Zeigers bewirken sollte, während doch das Pendel bekanntlich nur den Gang des Zahnrades regelt, das durch ein ablaufendes Gewicht in Bewegung erhalten wird. Wheatstone suchte diesem Uebelstande dadurch abzuhelfen, daß er wirklich das Zahnrad mit dem Zeiger am Indicator seines Telegraphen durch ein Laufwerk umtreiben ließ. Der Anker, welcher abwechselnd durch den Elektromagneten angezogen, durch die Feder losgerissen wird, erhält dadurch in der That die Bedeutung einer Hemmung, welche das Räderwerk nur in sprungweiser Bewegung, Zahn für Zahn, Buchstabe für Buchstabe, ablaufen läßt. Andere, wie Pelchrzim, versahen auch den Communicator mit einem Uhrwerke, um die Störungen der unregelmäßigen Handbewegung zu beseitigen, die nothwendig eintreten müssen, wenn bei einer zu schnellen Bewegung des Communicators der erst durch Vermittelung eines Hebels und eines Elektromagneten seinen Anstoß erhaltende Indicatorzeiger nicht schnell genug zu folgen vermag.

Die vollkommenste Einrichtung aber hat der Zeigertelegraph durch Siemens und Halske in Berlin erhalten. Abgesehen von der zweckmäßigen Einführung eines Tastenwerks, welches durch Hebel mit dem Zeiger in Verbindung steht und seinen Lauf in jedem beliebigen Augenblicke, an jedem beliebigen Buchstaben zu hemmen vermag, verschmolzen sie zuerst Communicator und Indicator, die seither auf jeder Station zwei besondere Apparate erforderten, mit einander, so daß nun derselbe Apparat die Depeschen gab und empfing. Sie machten es dadurch möglich, daß der Empfänger der Depesche ohne jede Störung den Geber unterbrechen, einen Irrthum andeuten oder die Wiederholung eines nicht verstandenen Zeichens verlangen kann. So-

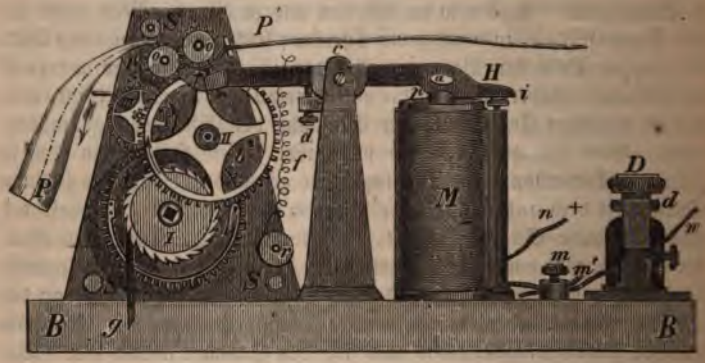
bald er den Finger auf eine Taste legt, bleibt der Zeiger der ersten Station stehen, und Der, welcher die Depesche giebt, erfährt sofort, daß sein Correspondent mit ihm sprechen will. Die Unterhaltung beginnt, Erklärungen werden ausgetauscht, und endlich geht die unterbrochene Arbeit wieder ruhig fort. So ist eine Conversation durch den Telegraphen möglich, wie sie nur zwischen gebildeten Menschen gewünscht werden kann.

Was aber ganz besonders den Siemens-Halske'schen Telegraphen auszeichnet, ist die sinnreiche Art, wie seine Bewegung ausgeführt wird, ohne Hülfe eines Uhrwerkes und doch ohne jenen Verlust an Kraft, welcher sonst mit der Anwendung von Elektromagneten verbunden ist. Das Princip, worauf diese Einrichtung gegründet ist, ist das zuerst von Neef aufgestellte, wonach der Anker eines Elektromagneten selbst im Stande ist, den Strom zu schließen und zu öffnen. Man denke sich eine Drahtspirale, in welcher ein Eisenkern steckt, und deren eines Ende mit einem Pole der Batterie verbunden ist, während das andere in eine schwache Feder ausgeht, die einen metallenen Hammer trägt, welcher in geringer Entfernung der Endfläche des Eisenkerns gegenübersteht. Von der andern Seite steht aber diesem Hammer in eben so geringer Entfernung eine Messingscheibe gegenüber, welche durch einen Draht mit dem andern Pole der Batterie verbunden ist. Sobald der Hammer diese Scheibe berührt, ist die galvanische Kette geschlossen, der Strom geht durch die Drahtspirale, der Eisenkern wird magnetisch und zieht den Hammer an. Dadurch aber wird der Hammer von der Scheibe entfernt, der Strom wird also unterbrochen, der Eisenkern verliert seinen Magnetismus und läßt den Hammer wieder los. Die Feder führt den Hammer wieder zur Scheibe zurück, der Strom circulirt auf's Neue, und das Spiel beginnt wie vorher. So entsteht ein Hin- und Hergehen des Hammers, das so lange dauert, als die galvanische Batterie wirksam ist. Bei dem Siemens-Halske'schen Telegraphen vertritt nun die Stelle des Hämmerchens der mit einem Hebel versehene Anker des Elektromagneten. Er öffnet und schließt in ähnlicher Weise die Kette und rückt bei jedem Hin- und Hergange je einen Zahn des Rades, auf welchem der Zeiger befestigt ist, fort. So lange die Batterie stark genug ist, durch die anziehende Kraft des Magneten die Trägheit des Ankers und die Spannkraft der Feder zu überwinden, dauert der Gang des Telegraphen ungestört fort.

Der Elektromagnetismus scheint damit seinen Beruf für die Telegraphie im vollsten Maße erfüllt zu haben. Nur einer Forderung ist

noch nicht genügt. Bei aller Einfachheit der Handhabung ist doch der Erfolg durchaus abhängig von der Sicherheit des Auges, welches die Zeichen lesen, von der Schnelligkeit der Hand, welche sie aufschreiben soll. Eine nachträgliche Controle ist nicht möglich, so lange nicht der Telegraph selbst, wie schon Steinheil verlangte, die ihm anvertrauten Depeschen aufschreibt. Auch diese Forderung wurde durch den Druck-Telegraphen des Amerikaners Morse im Jahre 1844 erfüllt. Derselbe besteht aus einem aufrechtstehenden kräftigen Elektromagneten (M, Fig. 168), an dessen Anker das Ende eines Hebels (Hci) befestigt ist, während das andere Ende dieses Hebels einen kleinen Stahl-

Fig. 168.

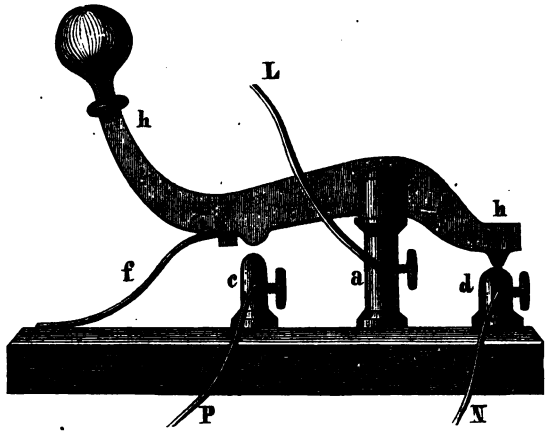


stift trägt. Sobald dieser Hebel durch den Elektromagneten angezogen wird, drückt sein Stahlstift auf einen Streifen Papier (P P'), welcher durch ein Räderwerk gleichmäßig unter einer Walze hingezogen wird. Sobald der Strom unterbrochen wird, hört auch die Anziehung des Elektromagneten auf, und eine Feder (f) zieht den Hebelarm und den Stahlstift von dem Papiere wieder zurück. Je nachdem also der Strom für einen Augenblick oder für längere Zeit geschlossen ist, entsteht ein Punkt oder ein Strich auf dem Papiere, und durch die verschiedenen Verbindungen dieser Punkte und Striche lassen sich dann alle Buchstaben darstellen.

Um das Oeffnen und Schließen des Stromes in bequemer Weise bewirken zu können, ist ein besonderer Apparat vorhanden, der soge-

nannte Schlüssel (Fig. 169). Es ist ein gekrümmter messingener Hebel (h), dessen Drehungsaxe sich in einem kleinen Messingsäulchen (a) befindet, welches mit der zur nächsten Station führenden Drahtleitung in Verbindung steht. Für gewöhnlich wird dieser Hebel in seinem vordern Theile durch eine Stahlfeder (f) aufwärts gedrückt, so daß der hintere Theil desselben ein kleines Messingsäulchen (b) berührt, welches theils mit dem einen Pole der Batterie, theils mit den Windungen des Elektromagneten und dem in den Erdboden gehenden zweiten Leitungs-

Fig. 169.



drahte in Verbindung steht. Drückt man aber den Hebel an seinem Handgriffe nieder, so wird die hintere Spitze desselben in die Höhe gehoben, und er kommt dafür vorn mit einem andern kleinen Säulchen (c) in Berührung, welches mit dem zweiten Pole der Batterie in leitender Verbindung ist. Sind die Schlüssel beider Stationen in der Ruhelage, so kann kein Strom entstehen, da die Verbindung der beiden Pole der Batterie (bei c) unterbrochen ist. Wird aber der Schlüssel auf einer Station niedergedrückt, so ist der Schließungsbogen für die Batterie dieser Station hergestellt, und der Strom geht zugleich durch den Schlüssel zum Leitungsdrahte über, der ihn zum Schlüssel der andern Station führt, wo er die Windungen des Elektromagneten durchläuft und so den Druckapparat in Thätigkeit setzt.

Da bei sehr weit entfernten Stationen ein außerordentlich kräf-

tiger Strom erforderlich sein würde, um den Elektromagneten so stark zu magnetisiren, daß der Stahlstift eines Hebels noch hinreichend deutliche Eindrücke auf das Papier macht, so hat Morse eine Theilung der Arbeit eingeführt und jede Station mit zwei Batterien versehen. Die eine, die Hauptbatterie, ist nur dazu bestimmt, den Strom zur andern Station zu leiten und dort auf einen sehr leicht beweglichen Apparat, den sogenannten Uebertrager oder das Relais, zu wirken. Dieser aber hat die Bestimmung, eine zweite Batterie, die Localbatterie, zu schließen, die nur dazu dient, den Schreibapparat in Bewegung zu setzen, und dazu ihre volle Kraft verwenden kann, da ihr Strom durch keine lange Drahtleitung geschwächt wird.

Die Vorzüge dieser Druck-Telegraphen sind einleuchtend; sie bestehen besonders in der außerordentlichen Sicherheit, mit welcher ihre Zeichen gegeben und empfangen werden, die aber zugleich mit einer Geschwindigkeit der Zeichengebung verbunden ist, wie sie von keinem Zeiger-Telegraphen erreicht werden kann. Sie fanden daher auch sehr schnell eine weitverbreitete Anwendung, nicht blos in Amerika, sondern auch in dem deutsch-österreichischen Telegraphenvereine, in Rußland, Dänemark, Schweden, der Schweiz, Belgien und Frankreich. Auch manche interessante Abänderungen und Verbesserungen haben sie erfahren. So benutzten Stöhrer und Andere die Eigenschaft gewisser chemischer Stoffe, durch den elektrischen Strom zersetzt zu werden und dadurch Färbungen zu erzeugen, um die bei dem Morse'schen Telegraphen nur durch Eindrücke auf dem Papiere gebildeten Zeichen auch farbig sichtbar zu machen. Besonders eignen sich dazu das Jodkalium und das bekannte Blutlaugensalz. Papier, das mit einem dieser Stoffe getränkt ist, zeigt da, wo es von den Polenden einer galvanischen Kette berührt ist, in Folge der Jodausscheidung in dem einen, der Bildung von Berlinerblau in dem andern Falle braune oder blaue Punkte und Striche. Noch sinnreicher als in diesem chemischen Telegraphen ist die Färbung durch chemische Zersetzung von Bakewell und Bain in dem sogenannten Copir-Telegraphen benutzt worden, um ganze Handschriften, Zeichnungen und Situationspläne zu telegraphiren. Dieser beruht auf der Umdrehung einer mit einem solchen chemisch präparirten Papiere bedeckten Walze. Wird während der Umdrehung einer solchen Walze vermittelst einer Feder beständig ein Stift gegen das Papier gedrückt, so beschreibt dieser Stift, wenn zugleich ein elektrischer Strom durch ihn zur Walze geleitet wird, einen braunen oder blauen Strich auf dem Papiere. Läßt man zugleich die Walze mit jeder

Umdrehung etwa um den 50sten Theil eines Zolles sich zur Seite rücken, so wird ein ganzer Bogen von 20 Zoll Breite in 1300 Umdrehungen mit schraffirten Linien bedeckt. Jede Unterbrechung des Stromes hat natürlich auch eine Lücke in diesen Linien zur Folge, und wenn diese Unterbrechungen der Form von Buchstaben entsprechen, so erhält man eine weiße Schrift auf schraffirtem Grunde. Um solche Unterbrechungen zu bewirken, stellt man auf der Station, von welcher die Mittheilung ausgeht, eine völlig gleiche und sich gleich bewegende Walze auf, deren Axe mit der Batterie verbunden ist. Ueber diese legt man aber ein Papier, auf welches die Depesche mit firnißhaltiger Schwärze gedruckt oder geschrieben ist. Die Spitze des einen Leitungsdrahtes ruht eben so auf diesem Papiere, wie die Spitze des andern auf dem chemischen Papiere der andern Station, so daß der elektrische Strom durch beide Papiere gehen muß. Der Firniß aber unterbricht als Nichtleiter den Strom, so oft der Draht während der Umdrehung der Walze auf ein Schriftzeichen trifft. Dreht sich also die Walze mit der gleichen Geschwindigkeit, wie die erste, so müssen, da die Unterbrechungen an beiden Stationen gleichzeitig geschehen, die Lücken auf dem chemischen Papiere dieselbe Schrift bilden, welche mit der isolirenden Schwärze auf das Blatt der entfernten Station geschrieben war. Die Schriftzeichen entstehen natürlich nicht buchstaben- oder zeilenweise, wie man sie schreibt, sondern es wachsen sämmtliche Zeilen gleichmäßig durch das Vorrücken der verticalen feinen Striche hervor. Leider stellt dieser Telegraph eine Forderung, welcher kaum in der Praxis vollkommen genügt werden kann, nämlich die genaue Uebereinstimmung der Uhrwerke und Walzen beider Stationen. Die geringste Verschiedenheit in der Größe oder der Bewegung der Walzen muß die ganze Schrift verzerren und unleserlich machen.

Ganz unerwähnt dürfen schließlich auch die Typo-Telegraphen nicht bleiben, wie sie von Brett und von Siemens und Halske construirt wurden. Diese lassen den Telegraphen geradezu die Arbeit des Setzers in einer Druckerei ausführen, nur daß der Telegraphist blos mit den Fingern die Buchstaben zu berühren hat, welche der meilenweit entfernte Apparat dann augenblicklich abdruckt. Zu diesem Zwecke sind an der rotirenden Axe, welche den Zeiger der Buchstabenscheibe trägt, 20 horizontale biegsame Strahlen angebracht, deren jeder am Ende einen erhabenen Buchstaben trägt. Durch einen kleinen Hammer wird der zu signalisirende Buchstabe gegen einen Papierstreifen gestoßen, der sich über ihm auf einer mit dicker Schwärze bedeckten

Walze bewegt. Sämmtliche Buchstaben kommen nach einander über den Hammer zu stehen; der signalisirte aber wird hier für den Augenblick aufgehalten, um den Schlag des Hammers zu erwarten, und zwar in einer ähnlichen Weise, wie der Zeiger eines Zeiger-Telegraphen auf der entfernten Station gehemmt wird. So sinnreich diese Einrichtung ist, hat sie doch ihrer Complicirtheit wegen, die mit mancherlei Unzuträglichkeiten verbunden ist, keine verbreitete Anwendung gefunden.

Kaum 30 Jahre sind verflossen, seit der erste elektromagnetische Telegraph dem öffentlichen Verkehr übergeben wurde, und schon hat er mit seinem Drahtnetze fast die ganze Erde umspannt. Schon verkettet er unter dem Meere hinweg Amerika mit Europa, und bald werden seine Drähte die Einöden Nordamerika's und Sibiriens, die Wildnisse Indiens und Australiens durchziehen, um den Gedanken mit Blitzesschnelle zu den fernsten Punkten der Erde zu tragen. So tief hat noch kaum eine Entdeckung in das Leben der Völker, in Handel und Verkehr eingegriffen, als die an sich so unscheinbare Entdeckung der Fähigkeit der elektrischen Kraft, sich in Bewegung umzuwandeln.

Eine der interessantesten Anwendungen, welche von der elektrischen Telegraphie gemacht worden sind, ist die der elektrischen Uhren. Jeder Telegraph ist an sich schon geeignet, statt der Worte Zeit zu telegraphiren. Am einfachsten geschieht dies jedoch, wenn man in den Schließungsbogen einer galvanischen Kette eine dem Morse'schen Telegraphen ähnliche Vorrichtung einschaltet und diese so mit einer Uhr verbindet, daß mit jedem Pendelschlage die Kette geschlossen wird. Der Schreibstift des Apparats muß dann mit jedem Secundenschlage einen Punkt auf dem sich mit gleichmäßiger Geschwindigkeit vorwärts bewegenden Papierstreifen machen. Will man nun den Moment oder die Dauer irgend eines Ereignisses markiren, so hat man neben dem Elektromagneten dieses Schreibapparates einen zweiten anzubringen, dessen Windungen einer andern Kette angehören, welche der Beobachter beliebig durch einen Druck auf eine Taste schließen kann. Man wird dann auf dem Papierstreifen eine zweite Reihe von Punkten erhalten, aus deren Lage gegen die Secundenpunkte man genau den Moment oder die Dauer des Ereignisses ersehen kann. Dieser Registrir-Apparat ist von der größten Wichtigkeit für die Beobachtungen auf Sternwarten. Hier mußte der Beobachter bisher die Uhr ganz in seiner Nähe haben, um die Secundenschläge zu hören, und abgesehen davon, daß dies oft mit großen Umständen verbunden war, ist es bekanntlich für den Beobachter sehr schwer, zwei verschiedenartige

Eindrücke, des Gesichts und Gehörs, sich gleichzeitig zum Bewußtsein zu bringen.

Für das bürgerliche Leben sind noch von größerem Interesse die eigentlich sogenannten elektrischen Uhren. Es sind dies Uhrwerke, welche durch einen Elektromagneten in Bewegung gesetzt und regulirt werden, oder deren Gang durch Vermittelung des galvanischen Stromes auf ein oder mehrere andere Uhrwerke übertragen wird. Auch ihre Einrichtung beruht auf der Hin- und Herbewegung eines weichen Eisenstücks vor den Polen eines Elektromagneten, die auf einen Hebel übertragen wird, der dann in das Getriebe der Uhr eingreift und es in Bewegung setzt. Die Regelmäßigkeit der Bewegung der Uhr hängt offenbar von der Regelmäßigkeit des Hin- und Herganges des Ankers ab, und diese wieder von der Regelmäßigkeit der Unterbrechungen und Wiederherstellungen des Stromes; diese aber werden durch eine Normaluhr bewirkt, deren Secundenpendel selbst bei jeder Schwingung den Strom schließt. In jeder Schwingung oder Secunde wird der Strom durch die Normaluhr einmal hergestellt, um die Drahtleitung und die Elektromagneten der elektrischen Uhr zu durchlaufen; in jeder Secunde wird also auch der Anker einmal angezogen. Daß es auf die Entfernung nicht ankommt, und daß auch mehrere Uhren in die Drahtleitung eingeschaltet werden können, ist selstverständlich. In mehreren größeren Städten ist daher auch bereits die Einrichtung getroffen, durch eine einzige Normaluhr eine große Menge in allen Richtungen zerstreuter, aber durch eine Drahtleitung verbundener elektrischer Uhren in Bewegung zu setzen.

Verwandlung elektrischer und magnetischer Kraft in Wärme und Licht.

Daß die Elektricität unmittelbar Wärme und Licht erzeugen oder vielmehr sich in Wärme und Licht verwandeln kann, das wird hinreichend durch die Erscheinungen des elektrischen Funkens, des Flammenbogens, des Glühens metallischer Leitungsdrähte bewiesen. Das elektrische Licht ist ja sogar das stärkste, sowohl in Betreff der Helligkeit, als der chemischen Wirksamkeit, das wir durch irdische Mittel hervorbringen können. Zwischen zwei Kohlenspitzen, die mit Borax und Schwefelsäure getränkt sind, läßt sich durch einen kräftigen elektrischen Strom ein Licht erzeugen, dessen Intensität 1171mal die Leuchtstärke einer Stearinkerze übertrifft, und nach den Versuchen von Fizeau und

Foucault ist die photographische Wirksamkeit des durch 46 Bunsen'sche Zink-Kohlenbecher erzeugten Kohlenlichts 34mal so groß, als die des bekannten Drummond'schen Kalklichts. Wir haben auch bereits gesehen, daß dieses elektrische Licht praktische Verwendung gefunden, daß man elektrische Lampen construirt hat, in denen ein Uhrwerk den Abstand der Kohlenspitzen regulirt, und daß diese Lampen, wenn auch nicht zur Straßen- oder Zimmerbeleuchtung, doch auf Leuchthürmen, bei Mikroskopen und in der Photographie sich als zweckmäßig erwiesen haben.

Auch die Wärmeentwickelung durch Elektricität, wie sie uns durch den Entladungsschlag der Leydener Flasche und in dem Schließungsbogen einer galvanischen Kette entgegentritt, gehört zu den kräftigsten, die man überhaupt hervorbringen kann, und auch diese hat vielfache praktische Anwendung gefunden, theils zur Entzündung von Minen, theils um schwer schmelzbare Körper in Fluß zu bringen. Mit einer Kette von 30 bis 40 Bunsen'schen Elementen kann man bereits mit Leichtigkeit Drähte von Blei, Zinn, Zink, Kupfer, Gold, Silber, Eisen und selbst Platin schmelzen und unter lebhaft sprühenden, je nach der Natur der Metalle verschieden gefärbten Funken verbrennen und verflüchtigen. Mit einer Batterie von 600 Bunsen'schen Elementen konnte Despretz in wenigen Minuten 250 Gramm Platin schmelzen und geringere Mengen dieses Metalls sogar zum Theil verflüchtigen. Ja es gelang ihm mit dieser Batterie sogar, Stäbchen von Kohle so weit zu erhitzen, daß sie sich erweichten und krümmten und sich gleichsam zusammenschweißen ließen.

Aber nicht blos diese intensive Hitze ist es, in der uns die Elektricität ihre Verwandlung in Wärme zeigt; überall vielmehr tritt Wärmeentwickelung ein, wo ein elektrischer Strom auf Widerstände stößt, wo er etwa von einem Leiter auf einen andern übergehen muß. Bisweilen kann die entwickelte Wärme so schwach sein, daß sie für das Gefühl nicht mehr bemerkbar wird, und doch kann sie unter solchen Umständen die gewöhnlichen Wirkungen der Wärme, Ausdehnungen erzeugen, und diese können sogar durch Bewegungen, die sie veranlassen, uns sichtbar werden. Einen schönen Beweis dafür giebt das Tyndall'sche Experiment. Auf zwei von einander isolirte kupferne Schienen, deren eine mit dem einen, die andere mit dem andern Pole einer galvanischen Batterie in Verbindung steht, wird eine hohle Metallkugel gelegt. Der elektrische Strom tritt dann an der einen Schiene ein, verfolgt diese bis zur Kugel und geht durch diese hindurch auf die andere

Schiene über. Indem er aber von der Schiene zur Kugel und wieder von der Kugel zur Schiene übergeht, begegnet er einem gewissen Widerstande, und in Folge dessen entwickelt sich an den beiden Berührungspunkten Wärme. Die Schienen werden an diesen Punkten ausgedehnt, erhöht, und in Folge davon beginnt die Kugel zu zittern. Der Kugel ist nicht wohl zu Muthe, sagt Tyndall, sie weiß nicht, auf welchem Fuße sie tanzen soll, und setzt sich endlich in Bewegung, läuft auf den Schienen dahin. Wäre die Schienenbahn kreisförmig, so würde die Kugel gar nicht mehr dem unsichtbaren Antriebe entrinnen können und rastlos umherrollen. Es ist ganz dieselbe Erscheinung, wie in dem bekannten Trevelyan'schen Apparate, wo ein erhitztes Eisenstück, das auf einem Bleistücke ruht, durch die wechselnden Ausdehnungen Töne hervorruft; nur ist hier die Elektricität die wärmeerzeugende Kraft.

Die Menge der durch den elektrischen Strom entwickelten Wärme ist natürlich einerseits von der Stärke des elektrischen Stromes, andererseits von dem Widerstande der durchlaufenen Drahtleitung abhängig. Nach einem Gesetze, welches Lenz aus einer großen Zahl von Versuchen für dieses Verhältniß abgeleitet hat, ist die Wärmeentwickelung einfach dem Widerstande der Leitungsdrähte proportional, wächst aber in quadratischem Verhältnisse mit der Stromstärke. Aus eben diesen Versuchen ging auch hervor, daß, wenn man einen Strom, welcher in einer Minute einen Cubikcentimeter Knallgas liefert, als Einheit der Stromstärke, und den Widerstand eines Kupferdrahtes von 1 Meter Länge und 1 Millimeter Dicke als Einheit des Widerstandes annimmt, ein solcher Strom eine Wärmemenge erzeugt, welche hinreicht, um die Temperatur von 1 Gramm Wasser in $56^3/_4$ Minuten um 1^0 C. zu erhöhen. Führen wir diese Wärme auf die bereits bekannte Wärmeeinheit zurück, nämlich die Wärmemenge, welche erforderlich ist, 1 Kilogramm Wasser um 1^0 C. zu erwärmen, so vermag die Einheit der Stromstärke, indem sie die Einheit des Widerstandes durchläuft, in 1 Minute 0,0000176 Wärmeeinheiten zu erzeugen.

Daß die Wärmeentwickelung durch Elektricität keine eigentliche Erzeugung, d. h. keine Kraftschöpfung aus Nichts ist, daß sie vielmehr nur in einem Wechselverhältnisse zwischen Wärme und Elektricität besteht, und die Wärme nur auf Kosten der elektrischen Kraft erregt wird, ist damit unzweifelhaft. Man kann sich davon aber auch unmittelbar durch einen einfachen Versuch überzeugen. Wenn man durch einen feinen Platindraht die Pole einer kräftigen galvanischen Säule ver-

bindet, so wird der Draht glühend, und zugleich wird in den Zellen der Säule eine gewisse Menge chemischer Thätigkeit entwickelt. In einer gegebenen Zeit löst sich eine ganz bestimmte Menge Zink auf und wird eine ganz bestimmte Menge Wasserstoff frei gemacht. Taucht man aber den Platindraht in Wasser, so daß die durch den Strom erregte Wärme sich schneller zerstreuen kann, so nimmt die chemische Thätigkeit in der Säule plötzlich zu, und es wird in derselben Zeit eine größere Menge Zink aufgelöst, eine größere Menge Wasserstoff entwickelt. Taucht man vollends den Draht in fließendes Wasser, beschleunigt also noch mehr die Entfernung der Wärme, so bedarf es noch größerer chemischer Thätigkeit, um dieselbe Wärmewirkung der Elektricität zu erzeugen, gerade wie mehr Brennstoff erfordert wird, wenn man die Verdunstung des zu erwärmenden Wassers beschleunigt. Umgekehrt aber wird man die chemische Thätigkeit der Säule sich verringern sehen, sobald man den Draht etwa in das Innere einer Weingeistflamme bringt und dadurch den Widerstand vergrößert, den die Wärme zu überwinden hat, um sich zu zerstreuen.

Auch der Magnetismus vermag unter Umständen unmittelbar Wärme hervorzubringen. Eine Stange von Eisen oder Kobalt oder Nickel wird erwärmt, wenn man sie dem Einflusse eines kräftigen Elektromagneten aussetzt, der plötzlich magnetisirt oder entmagnetisirt wird. Ebenso wird Wärme erzeugt, wenn man einen mit seinen Polen einer Eisenstange gegenüberstehenden Stahlmagneten sich drehen läßt, und man kann die Temperaturerhöhung sogar leicht an einer thermo-elektrischen Säule messen, welche dem Elektromagneten gegenübergestellt ist. Auch bei dem sogenannten Rotations-Magnetismus ist eine Wärmeerzeugung nachweisbar. Im Jahre 1825 machte nämlich Arago die Beobachtung, daß eine schnell rotirende Kupferscheibe eine darüber schwebende Magnetnadel, auch wenn diese durch eine Glasscheibe geschützt ist, gleichfalls in Drehung versetzt. Auch aus andern Metallen, und selbst aus Nichtleitern gefertigte Scheiben bringen diese Erscheinung hervor, wenn auch in geringerem Grade. Die Ursache liegt einfach in den inducirten Strömen, welche in der rotirenden Scheibe durch den Magnetismus der Nadel veranlaßt werden. Diese Drehung der Magnetnadel ist offenbar eine Arbeit, welche der Magnetismus verrichtet. Hindert man diese Bewegung, so wird, gerade wie bei der Reibung, statt der Arbeit Wärme entwickelt. Diese Wärme wahrnehmbar und sogar meßbar zu machen, ist Foucault dadurch gelungen, daß er eine kupferne Scheibe zwischen den Polen eines

kräftigen Magneten in rasche Rotation versetzte. Auch hier müssen offenbar Ströme inducirt werden, welche hemmend auf die Bewegung wirken. Man empfindet dies schon, wenn man es versucht, eine Silber- oder Kupferplatte zwischen den Polen eines Elektromagneten hin und her zu ziehen. Es ist, als ob eine unsichtbare Macht sie zurückhalte, als ob die Luft dick geworden wäre und man sie mit dem Kupferblech durchsägen müsse. In weit höherem Maße ist dies der Fall, wenn die Kupferscheibe durch Kurbel und Räderwerk in rasche Rotation versetzt wird. So lange der Elektromagnet noch nicht in Thätigkeit ist, dreht man die Scheibe mit der größten Leichtigkeit. Sobald aber der Strom durch die Windungen des Elektromagneten geht, fühlt die Hand an der Kurbel einen Widerstand und vermag nur noch mit großer Kraftanstrengung die Drehung der Scheibe zu bewirken. Die Reaction zwischen dem Magneten und der rotirenden Scheibe wirkt also, wie die Reibung, als Hinderniß der Bewegung und verwandelt sie auch sehr bald, wie diese, in Wärme. Bei einem von Foucault angestellten Versuche war diese Wärmeentwickelung so stark, daß nach 3 Minuten langem Drehen die Temperatur der Scheibe von 10° auf 61° C. gestiegen war, trotzdem der Strom für den Elektromagneten nur von 3 Bunsen'schen Bechern geliefert wurde. Wenn statt der Kupferscheibe ein Metallcylinder, dessen Hülle aus Kupfer bestand, und der im Innern mit einer leicht schmelzbaren Legirung ausgefüllt war, zwischen den Polen des Magneten in rasche Rotation versetzt wurde, so war die entwickelte Wärme hinreichend, die innere Metallmasse eben so zu schmelzen, als ob man den Cylinder in die glühenden Kohlen eines Ofens gelegt hätte.

Solche Thatsachen bestätigen wohl zur Genüge die Fähigkeit des Magnetismus, sich in Wärme umzuwandeln, wenn es dazu auch vielleicht einer Vermittelung durch die von ihm erregten Inductionsströme bedarf. Das Wechselverhältniß von Magnetismus und Wärme zeigt sich aber auch darin, daß das Leitungsvermögen für die Wärme durch die magnetische Kraft in einer bestimmten Richtung verändert werden kann. Wenn man eine Platte von weichem Eisen mit einer feinen Schicht mit Oel vermischten Wachses bedeckt und dann durch den Mittelpunkt desselben ein durch Wasserdampf erwärmtes Rohr führt, so wird das geschmolzene Wachs unter gewöhnlichen Umständen einen Kreis um das Rohr bilden. Stellt man aber diese Platte über die Pole eines Magneten, so verändern die Grenzen des geschmolzenen Wachses ihre Form; der Kreis verlängert sich zu einer Ellipse in einer

zur Verbindungslinie der Pole senkrechten Richtung. Das Leitungsvermögen des Eisens für die Wärme ist also offenbar verändert worden.

Daß der Magnetismus auch unmittelbar Licht erzeugen könne, ist noch durch keine Thatsache erwiesen. Ganz unzweifelhaft aber ist eine Einwirkung des Magnetismus auf die Schwingungen des Lichts in gewissen durchsichtigen Körpern, die sich als Drehung der Polarisationsebene äußert. Am einfachsten überzeugt man sich davon, wenn man zwei Elektromagnete, deren Eisenkerne ihrer Längsaxe nach cylindrisch durchbohrt sind, so hinter einander befestigt, daß man durch sie hindurch sehen kann. Vor die beiden äußeren Enden dieser durch die Eisenkerne gebildeten Röhre bringt man dann Nicol'sche Prismen und stellt hinter das eine eine brennende Kerze. Dreht man nun die beiden Prismen so, daß ihre Hauptschnitte senkrecht auf einander stehen, so muß, wie in der Lehre von der Lichtpolarisation gezeigt wurde, das eine Prisma das Licht vollständig auslöschen, welches von dem andern Prisma durchgelassen war. Legt man nun auf einen Träger zwischen die beiden Eisenkerne genau in der Axe ihrer Höhlung ein Stück sogenannten Faraday'schen schweren Glases (eines kieselborsauren Bleioxyds), so bleibt das Licht der Kerze ebenfalls noch unsichtbar, so lange der Strom den Elektromagneten noch nicht umkreist. Sobald man aber die Kette schließt und den Magnetismus in dem Elektromagneten wachruft, wird das Licht wieder sichtbar, und man muß das Nicol'sche Prisma vor dem Auge erst wieder eine gewisse Anzahl von Graden nach rechts oder links drehen, wenn die Dunkelheit wieder eintreten soll. Die Polarisationsebene des Lichtes ist also gedreht worden. Man kennt bereits eine große Anzahl fester und flüssiger Körper, welche in ähnlicher Weise, wie das Faraday'sche schwere Glas, unter dem Einflusse von Elektromagneten die Polarisationsebene des Lichtes zu drehen vermögen, und zwar geschieht dies stets in derselben Richtung, in welcher der Strom die Elektromagneten umkreist. Offenbar liegt dieser Erscheinung eine Veränderung in der Lage der Moleküle dieser Körper zu Grunde, die durch den Magnetismus gleichsam in doppeltbrechende, circularpolarisirende Körper umgewandelt werden. Bestätigt wird diese Ansicht durch die Beobachtung Matteucci's, daß auch die mechanische Pressung des Glases sein Vermögen ändert, die Polarisationsebene eines Lichtstrahls zu drehen, und daß selbst in der Härte eines dem Einflusse eines starken Magneten unterworfenen Glases eine Veränderung eintritt.

Als eine unmittelbare Lichterzeugung der magnetischen Kraft wird vielfach das Nordlicht betrachtet. Humboldt hat es als den Act der Entladung, als das Ende eines magnetischen Ungewitters bezeichnet. Leider aber hat dies Wort auch heute noch keinen andern Werth, als den einer geistvollen Vergleichung. Das Nordlicht gehört auch heute nicht blos zu den prächtigsten, sondern auch zu den räthselhaftesten Erscheinungen der Natur. Auf seinen magnetischen Ursprung hat man namentlich aus seiner Einwirkung auf die Magnetnadel geschlossen. In der That sind die Störungen der Magnetnadel, welche der Entwickelung des Nordlichtes vorangehen und seinen Verlauf begleiten, außerordentlich auffallend und werden selbst auf weite Entfernungen hin so bemerkbar, daß sie bisweilen die Läutewerke der Telegraphenstationen in Bewegung setzen. Dazu kommt das wenigstens annähernde Zusammenfallen des magnetischen Meridians mit dem Mittelpunkte der Erscheinung. Unbestreitbar ist überdies, daß die Erde als rotirender Magnet elektrische Ströme induciren muß. Aber der thatsächliche Beweis, daß diese Ströme das Nordlicht erzeugen, soll noch geliefert werden.

Die chemischen Wirkungen der Elektricität und die Galvanoplastik.

Daß die Elektricität auch die chemische Verwandtschaft erregen kann, hat uns bereits die Wasserzersetzung durch den elektrischen Funken, wie durch die Volta'sche Säule genügend bewiesen. Die Elektricität zeigt sich sogar als eine der kräftigsten Quellen chemischer Kraft und vermag chemische Verbindungen und Zersetzungen zu bewirken, welche die gewöhnliche Chemie nur unter ganz besonderen Umständen zu Stande bringt. Ihr verdanken wir daher auch die berühmte Davy'sche Entdeckung der Alkali- und Erdmetalle. Aber die chemischen Wirkungen der Elektricität zeichnen sich nicht blos durch ihre Kräftigkeit, sondern auch durch ihre Allgemeinheit aus und haben dadurch Veranlassung gegeben zu der besonders von Davy und Berzelius ausgebildeten elektrochemischen Theorie, wonach die Grundursache jeder chemischen Verbindung geradezu in einer elektrischen Anziehung zu suchen ist. Die Atome je zweier Elemente werden nach dieser Theorie entgegengesetzt elektrisch, sobald sie mit einander in Berührung kommen. Alle Elemente werden daher gleichsam Glieder einer Spannungsreihe, deren negatives Ende der Sauerstoff, deren positives das Kalium und

die neu entdeckten Metalle Rubidium und Cäsium bilden. Wenn es auch noch keineswegs als erwiesen gelten kann, daß chemische Verwandtschaft und elektrische Anziehung völlig ein und dasselbe sind, so verknüpft doch in der That die elektrochemische Theorie eine Menge von Thatsachen in einer Weise, welche mit der Erfahrung durchaus übereinstimmt.

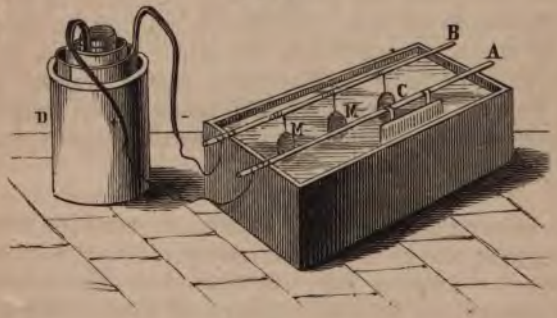
Bei der Allgemeinheit der chemischen Wirkungen der Elektricität hat man in ihnen auch ein Mittel gefunden, die Stärke elektrischer Ströme zu messen. Den Strom selbst, wenn er eine geschlossene Kette durchläuft, kann man nicht wahrnehmen; nur aus seinen Wirkungen kann man auf seine Stärke zurückschließen. Die magnetische Wirkung haben wir bereits als Maß für die Ströme benutzen sehen; gerade so kann aber auch die chemische Wirkung, namentlich die Wasserzersetzung benutzt werden. Die Apparate, die zu dieser Messung der Stromstärke dienen, nennt man Voltameter. Sie bestehen einfach aus einem mit verdünnter Schwefelsäure gefüllten Gefäße, in welches eine gleichfalls mit dieser Flüssigkeit gefüllte, oben verschlossene, unten offene Glasröhre getaucht ist. In diese Röhre werden von unten die beiden Poldrähte der Säule, deren Stromstärke gemessen werden soll, eingeführt. Natürlich müssen diese aus Platin oder irgend einem nicht oxydirbaren Metalle bestehen. Zwischen diesen Poldrähten beginnt nun die Wasserzersetzung, und die Producte derselben, Sauerstoffgas und Wasserstoffgas, steigen in der Röhre empor. Die Röhre selbst ist graduirt, so daß man die Menge des entwickelten Gases darin messen kann. Natürlich kann man auch über jedem Poldrahte eine besondere Glasröhre aufstellen und so die Gase getrennt auffangen. Diese Art der Strommessung ist außerordentlich bequem, und man hat daher auch auf sie die bereits erwähnte Einheit der Stromstärke begründet, welche einem Strome entspricht, der in 1 Minute einen Cubikcentimeter Knallgas liefert.

Auf dem praktischen Gebiete haben die chemischen Wirkungen der Elektricität eine glänzende Anwendung in der Galvanoplastik gefunden. Schon im Jahre 1836 hatte de la Rive darauf aufmerksam gemacht, daß sich das im Innern des Kupfercylinders eines Daniell'schen Bechers ablagernde Kupfer bei hinreichender Stärke vollständig als zusammenhängende Platte abheben läßt, und daß dieses galvanisch niedergeschlagene Kupfer den genauesten Abdruck der ursprünglichen Kupferplatte mit den kleinsten Rissen und Unebenheiten

darbietet. Fast gleichzeitig kamen im Jahre 1839 Jacobi in Petersburg und Spencer in England dadurch auf den Gedanken, diese Thatsache praktisch zu verwerthen, um auf nassem Wege kupferne Copien von metallenen Gegenständen, Münzen, Medaillen, Statuetten, gestochenen Kupferplatten ꝛc. herzustellen. Bald zeigte sich, daß es nicht einmal nothwendig sei, das Kupfer auf metallene Gegenstände niederzuschlagen, daß dies vielmehr auch auf Formen aus nichtleitenden Substanzen, wie Stearin, Wachs, mit Fett getränktem Gyps und besonders Guttapercha, geschehen könne, wenn die Oberfläche derselben vorher mit einer leitenden Substanz, wie Graphit oder Kupferbronce, überzogen worden ist. Jacobi nannte diese neue Kunst Galvanoplastik.

Um einen galvanoplastischen Abdruck einer Münze etwa zu erhalten, hat man nur nöthig, sie als negative Polplatte eines schwach geladenen Daniell'schen oder Bunsen'schen Bechers, der positiven Polplatte gegenüber, in eine concentrirte Lösung von Kupfervitriol zu tauchen. Zweckmäßiger natürlich für solche galvanoplastische Niederschläge ist ein besonderer Apparat. Ein solcher besteht am einfachsten aus einem hölzernen, innen ausgepichten oder mit Bleiplatten überzogenen Kasten, der mit einer concentrirten Lösung von Kupfervitriol gefüllt ist (Fig. 170).

Fig. 170.



Ueber den Rand desselben sind zwei Metallstäbe gelegt, von denen der eine (A) mit dem positiven, der andere (B) mit dem negativen Pole eines Daniell'schen Bechers (D) leitend verbunden ist. Von

dem einen dieser Stäbe (A) hängt, metallisch mit ihm verbunden, eine Kupferplatte (C) in die Flüssigkeit des Kastens herab, an dem andern (B) sind die Gegenstände (M) befestigt, welche galvanisch mit Kupfer überzogen werden sollen. Der Strom, welcher nun im ganzen Apparate circulirt, zerlegt den Kupfervitriol im Kasten. Das ausgeschiedene Kupfer wandert zu den Gegenständen, welche den negativen Pol der Kette bilden, und schlägt sich auf ihnen nieder. Die Schwefelsäure und der Sauerstoff aber treten an die Kupferplatte (C) des positiven Pols und lösen einen Theil derselben auf, so daß sich beständig eben so viel Salz wieder bildet, als durch den Strom zersetzt wird. Hat der Niederschlag auf den Gegenständen (M) die gehörige Dicke erlangt, so kann man ihn ablösen. In dieser Weise ist man im Stande, sowohl Holzschnitte als gestochene Kupferplatten mit aller Schärfe des Originals zu vervielfältigen, und dies ist besonders bei den letzteren von großer Wichtigkeit, da man immer nur eine geringe Anzahl guter Abdrücke von ihnen machen kann, und da gestochene Stahlplatten sie der Kunst gegenüber niemals ersetzen können. Neuerdings hat sogar Kobell in München ein Verfahren angegeben, um in Tuschmanier gemalte Bilder durch Galvanoplastik zu vervielfältigen.

Ebenso, wie aus einer Auflösung von Kupfervitriol auf galvanischem Wege metallisches Kupfer am negativen Pole einer Kette abgeschieden wird, lassen sich auch andere Metalle, namentlich Gold und Silber, aus geeigneten Auflösungen abscheiden. Darauf beruht die galvanische Vergoldung und Versilberung. Schon im Jahre 1805 überzog Bragnatelli auf diese Weise Münzen mit einer Goldschicht, indem er sie in eine ammoniakalische Goldlösung legte und mit dem negativen Pole einer Säule in Verbindung brachte, während er den positiven Poldraht in die Flüssigkeit selbst tauchte. Jetzt wendet man am zweckmäßigsten die Auflösungen der Cyanverbindungen dieser edlen Metalle in Cyankalium an.

Fünftes Kapitel.

Die Verwandlungserscheinungen der chemischen Kraft.

Umwandlung chemischer Kraft in Elektricität.

Wenngleich die chemische Verwandtschaft für gewöhnlich nicht zu den physikalischen Kräften gezählt wird, diesen vielmehr geradezu gegenübergestellt zu werden pflegt, so zeigt sie sich doch als eine der gewöhnlichsten und reichsten Quellen dieser Kräfte, namentlich der Elektricität und der Wärme. Man kann geradezu die Elektricität als eine Wirkung der chemischen Kraft auffassen, welche sich in einer bestimmten Richtung durch eine Reihe oder Kette von Theilchen hindurch geltend macht. Volta's Entdeckung war es zuerst, welche auf die innigen Beziehungen zwischen der chemischen Kraft und der Elektricität aufmerksam machte. Wenn zwei ungleichartige Metalle, die einander berühren, in eine Flüssigkeit getaucht werden, die im Stande ist, chemisch auf das eine von ihnen zu wirken, so erzeugt die chemische Thätigkeit eine eigenthümliche Kraft, die man einen elektrischen Strom nennt, und die von Metall zu Metall durch die Flüssigkeit hindurch circulirt. Damals legte man indeß noch den größten Nachdruck auf die Berührung der verschiedenartigen Metalle, und so entstand die Contacttheorie, welche allein in der Berührungsstelle der Metalle den Sitz der elektromotorischen Kraft sah. Als man später die wichtige Rolle, welche die Flüssigkeiten in der Säule spielen, näher kennen lernte, erweiterte man diese Theorie dahin, daß man neben der Elektricitätserregung durch Metallcontact auch noch eine elektromotorische Kraft an den Berührungsstellen von Metallen und Flüssigkeiten annahm. Dieser den neueren Entdeckungen gegenüber freilich nicht mehr haltbaren Theorie stellten dann de la Rive, Becquerel und die meisten englischen Physiker, namentlich Faraday, die chemische Theorie der Kette entgegen, die alle Elektricitätserregung erst als die Folge einer vorangegangenen chemischen Wirkung erklärt, welche die Flüssigkeit der Kette auf das eine Metall ausübt. In dieser schroffen Form steht allerdings auch diese Theorie im Widerspruche mit unzweifelhaften Thatsachen, da man in Wirklichkeit Volta'sche Elemente construiren kann, bei denen vor der Schließung nicht eine Spur chemischer Zersetzung stattfindet, und die dennoch einen Strom liefern, wenn sie geschlossen werden. Schönbein hat deshalb versucht, eine Vermittelung

zwischen diesen beiden Theorien herbeizuführen. Auch er ist der Ansicht, daß ein elektrischer Spannungszustand der chemischen Thätigkeit der Säule vorangehe, aber er sieht den Sitz der elektromotorischen Kraft nicht in der Berührungsstelle der beiden Metalle, sondern in den Berührungsstellen der beiden Metallflächen mit der Flüssigkeit. Nach seiner Ansicht ist die Elektricitätserregung eines Plattenpaares, welches in eine erregende Flüssigkeit eingetaucht ist, die Folge der ungleichen chemischen Anziehung der Elemente der Flüssigkeit zu den beiden Metallen. In dieser Weise ist aber die elektrische Kraft geradezu auf die chemische zurückgeführt, als eine Verwandlungserscheinung derselben aufgefaßt.

Man kann in der That kaum eine andere Auffassung von der Elektricität gewinnen, wenn man die Erregung derselben durch ein einziges Metall in Berührung mit zwei verschiedenen Flüssigkeiten betrachtet. Taucht man Gold in Salzsäure, so entsteht bekanntlich keine chemische Thätigkeit, ebensowenig, wenn man Gold in Salpetersäure taucht. Mischt man aber beide Säuren, so wird das Gold sofort angegriffen oder chemisch aufgelöst. In der Salzsäure, die aus Chlor und Wasserstoff besteht, konnte keine chemische Thätigkeit rege werden, weil die Verwandtschaft des Chlors zum Golde schwächer ist, als die des Chlors zum Wasserstoff. Wenn aber die Salpetersäure hinzukommt, welche eine große Menge von Sauerstoff im Zustande ziemlich schwacher Verbindung enthält, so tritt die Verwandtschaft dieses Sauerstoffs zum Wasserstoff derjenigen des Wasserstoffs zum Chlor entgegen, und die Verwandtschaft des Chlors zum Golde vermag nun in Wirksamkeit zu treten. So weit haben wir es indeß nur erst mit einem chemischen Processe zu thun. Nun bringen wir aber die beiden Flüssigkeiten, statt sie zu mischen, in getrennte Gefäße, deren poröse Wände aber eine Berührung zwischen ihnen noch gestatten. Dann stellen wir in jede dieser Flüssigkeiten ein Goldplättchen. Noch zeigt sich weder eine chemische, noch eine elektrische Thätigkeit. In dem Augenblicke aber, wo wir die beiden Goldplatten durch einen leitenden Metalldraht verbinden, tritt die chemische Thätigkeit ein, wird das Gold in der Salzsäure aufgelöst; in demselben Augenblicke aber entfaltet sich auch die elektrische Thätigkeit, die mit Hülfe eines Galvanometers nachgewiesen werden kann.

Es giebt wohl überhaupt keine chemische Thätigkeit, die nicht nachweislich auch Elektricität erregte. Die Oxydation der Metalle, die Verbrennung des Kohlenstoffs, die Vereinigung des Sauerstoffs

mit dem Wasserstoffe können Quellen der Elektricität werden. Die Flamme eines Löthrohres erzeugt einen sehr wahrnehmbaren elektrischen Strom, wenn man ein Platinplättchen in den blauen Theil der Flamme, wo die Verbrennung beginnt, und ein anderes Platinplättchen in die volle gelbe Flamme bringt, wo die Verbrennung am stärksten ist, und dann beide Plättchen durch einen Schließungsdraht verbindet. In der gewöhnlichen Volta'schen Säule ist es die chemische Einwirkung des Wassers auf das Zink, welche die Elektricität erzeugt. Diese Elektricitätserregung wird gesteigert durch das Hinzukommen einer Säure, welche entweder selbst auf das Zink einwirkt oder die Wirkung des Wassers energischer macht. Eine der kräftigsten chemischen Wirkungen ist die der Salpetersäure auf oxydirbare Metalle, und sie ist es auch, welche die kräftigste Volta'sche Säule erzeugt. Könnte man alle chemische Thätigkeit nutzbar machen, indem man sie in elektrische Kraft verwandelt, so würde man eine reiche Kraftquelle zur Verfügung haben. Könnte man namentlich statt der theuren Kunsterzeugnisse, wie es doch Zink und Säuren sind, die Verbrennung gewöhnlicher Rohstoffe, wie Kohle, Holz, Fett ꝛc., zur Erzeugung elektrischer Kraft benutzen, so würde man eine mechanische Kraft gewinnen, welche selbst die Dampfmaschine in den Hintergrund drängen würde.

Wir haben bereits gesehen, daß die Kraft eines elektrischen Stromes genau im Verhältnisse zu der Menge der chemischen Thätigkeit steht, durch welche sie erzeugt wird, und daß seine Fähigkeit, Widerstände zu überwinden, ebenfalls der Stärke der chemischen Verwandtschaft entspricht. Aber interessanter noch sind die Beziehungen, welche zwischen der chemischen Thätigkeit im Innern einer Säule, also der die Elektricität erzeugenden, und der zwischen den Polenden in einer andern Flüssigkeit stattfindenden chemischen Thätigkeit, also der chemischen Wirkung der Elektricität bestehen. Eine gewöhnliche Volta'sche Säule, die aus einer Reihenfolge von zwei Metallen und einer Flüssigkeit besteht, die im Stande ist, chemisch auf eines derselben zu wirken, hat das Vermögen, eine chemische Thätigkeit im Innern einer Flüssigkeit zu erzeugen, die mit der Säule durch Metalldrähte in Verbindung steht, und auf welche die Metalle der Säule selbst unmittelbar nicht zu wirken vermögen. Ist diese Flüssigkeit Wasser, so wird an der Spitze des einen Poldrahtes sich Sauerstoff, an der Spitze des andern Wasserstoff entwickeln, und zwar genau in demselben Verhältnisse, in welchem sie sich zu Wasser verbinden würden. Von einer gesetzlichen Beziehung zwischen der Menge dieser chemischen Thätigkeit und der Menge der

im Innern der Zellen stattfindenden hatte man bis auf Faraday's scharfsinnige Untersuchungen keine Ahnung. Faraday aber wies nach, daß die Mengen dieser beiden chemischen Thätigkeiten zu einander genau im Verhältniß der chemischen Aequivalentzahlen, d. h. derjenigen Zahlen stehen, welche die Gewichtsmengen bestimmen, in denen sich die Elemente chemisch mit einander verbinden. Besteht also eine Säule aus Platin, Zink und Wasser, so ist die Menge von Sauerstoff, die sich mit dem Zink in jeder Zelle der Säule verbindet, genau so groß, als die Menge des Sauerstoffs, welche an einem der Poldrähte entwickelt wird, während ebenso die Menge des auf jeder Platinplatte entwickelten Wasserstoffs genau der Menge des Wasserstoffs gleich kommt, welcher am andern Poldrahte frei wird. Ist die Flüssigkeit in der Säule nicht Wasser, sondern Salzsäure, während die Polenden wie zuvor in Wasser tauchen, so werden für jede 36 Gewichtstheile Chlor, die sich mit jeder Zinkplatte verbinden, genau 8 Gewichtstheile Sauerstoff an der Spitze des einen Poldrahts entwickelt. Die Gewichtsmenge des Chlors, welches sich mit dem Zink verbindet, und die Gewichtsmenge des Sauerstoffs, welcher bei der Wasserzersetzung frei wird, stehen also genau in demselben Verhältnisse, in welchem beide Elemente sich chemisch verbinden. So erscheint die elektrische Thätigkeit hier geradezu als eine chemische, die durch eine Reihe von Mitteln fortgeführt wird, und man kann geradezu aus den Zahlen der chemischen Aequivalente im voraus die Menge der elektrischen Kraft berechnen, welche durch die entsprechenden Substanzen erzeugt wird.

Die thierische Elektricität.

Das innige Wechselverhältniß, welches zwischen Elektricität und chemischer Thätigkeit besteht, läßt von vornherein erwarten, daß auch der thierische Organismus als Sitz so mannichfacher chemischer Processe eine Quelle elektrischer Thätigkeit sein müsse. Als Galvani die merkwürdige Entdeckung der elektrischen Zuckungen eines Froschschenkels unter der Berührung zweier verschiedener Metalle machte, eine Entdeckung, die eine neue Epoche für die Elektricitätslehre hervorrief, wollte er bereits die Quelle der Elektricitätserregung nicht in den Metallen, sondern in dem Froschpräparate selbst sehen. Freilich war er im Irrthum, wenn er die Froschschenkel geradezu mit einer geladenen Leydener Flasche verglich, deren äußeren Beleg die Außenseite des Muskels bilden sollte, während der Nerv den vom innern Belege

kommenden Leiter darstellte. Er unterlag darum auch in dem darüber entbrannten Streite seinem Gegner Volta. In einer Beziehung aber hatte Galvani doch nicht ganz Unrecht. Wenn es auch vorzugsweise die außerhalb des Froschschenkels durch den metallischen Schließungsbogen entwickelte Elektricität ist, welche die Zuckungen hervorruft, so ist sie es doch nicht ausschließlich, sondern es findet wirklich auch in den Muskeln des Frosches selbst eine Elektricitätsentwickelung statt. Schon Galvani gelang es, ohne Anwendung irgend eines Metallbogens einen Froschschenkel dadurch in Zuckungen zu versetzen, daß er den frei aus dem Schenkel hängenden Nerven mit der Außenfläche des Schenkels in Berührung brachte, oder daß er die Füße seines Froschpräparates und die Wirbelsäule desselben in zwei getrennte, mit Salzlösung gefüllte Gläser tauchte und die Gefäße dann durch befeuchtete Asbestfäden leitend verband. Aber erst nach der Erfindung eines so empfindlichen Werkzeuges zur Nachweisung elektrischer Ströme, wie es Schweigger's Multiplicator ist, wurde es möglich, diese interessante Erscheinung genauer zu verfolgen. Nobili und Matteucci waren es, die zuerst ein Licht über diesen geheimnißvollen Gegenstand verbreiteten; aber erst den classischen Untersuchungen Du Bois-Reymond's gelang es, das wahre Wesen dieser thierischen Elektricität zu enthüllen, sie in ihrer Allgemeinheit und Gesetzlichkeit nachzuweisen. Jeder einzelne Muskel, so lautet das Resultat dieser Untersuchungen, wird von elektrischen Strömen durchkreist, jeder Muskel jedes Thieres überhaupt wirkt elektromotorisch.

Um diesen sogenannten Muskelstrom nachzuweisen, legt man irgend einen Muskel auf zwei mit Feuchtigkeit getränkte Bäusche von Fließpapier, welche unten in besondere, mit Salzlösung gefüllte Gefäße tauchen, und verbindet dann diese Gefäße durch eingetauchte Platinplatten mit einem empfindlichen Multiplicator. Ist der Muskel so aufgelegt, daß er an beiden Seiten mit seinen sehnigen Enden die Bäusche berührt, so erhält man gar keinen, oder doch nur einen sehr schwachen Strom. Legt man den Muskel aber so, daß er den einen Bausch mit einer Endfläche oder einem künstlich gemachten Querschnitte, den andern mit seiner Seitenfläche oder einem künstlich gemachten Längsschnitte berührt, so zeigt der Ausschlag der Multiplicatornadel einen kräftigen Strom an, der jedesmal vom Querschnitte zum Längsschnitte gerichtet ist. Dieses Gesetz des Muskelstroms gilt für jeden Muskel und jedes Thier. Am stärksten sind diese Ströme in ruhenden Muskeln. Die elektromotorische Kraft eines Muskels nimmt aber in

gleichem Maße mit seiner Erregbarkeit ab und hört wie diese mit dem Eintritte der Todtenstarre völlig auf. Sie wird ebenso durch jede Thätigkeit des Muskels, jede Verkürzung in Folge einer Anstrengung geschwächt. Man kann dies an den Armmuskeln eines lebenden Menschen nachweisen, wenn man an die beiden Enden des Multiplicatordrahtes die kupfernen Handhaben einer Magnetelektrisirmaschine anschraubt. Sobald man diese Handhaben mit befeuchteten Händen anfaßt, verläßt die Multiplicatornadel ihre Gleichgewichtsstellung und kommt erst nach einigen Schwankungen wieder zur Ruhe. Uebt man nun mit der einen Hand einen kräftigen Druck auf die Handhabe aus und bewirkt dadurch eine Zusammenziehung der Muskeln des einen Arms, so sieht man sofort die Nadel ihre neue Gleichgewichtslage wieder verlassen und einen Ausschlag von 5 bis 10 Graden nach der einen Seite hin machen. Strengt man dann die Muskeln des andern Armes an, so treibt man die Nadel wieder nach der andern Seite aus der Gleichgewichtslage. Wechselt man so wiederholt mit der Zusammenziehung der Muskeln der beiden Arme, so kann man bedeutende Schwankungen der Nadel hervorbringen. Diese Verminderung der Ablenkung ist ein deutlicher Beweis für die durch die Thätigkeit sich schwächende Kraft des Muskels, mit andern Worten für die Verwandlung der Kräfte auch im thierischen Organismus.

Den Vorgang selbst, der in der Elektricitätserregung des Muskels stattfindet, hat Du Bois-Reymond sehr sinnreich veranschaulicht, indem er einen Cylinder aus Kupferblech, dessen Mantel verzinkt war, dessen Grundflächen aber noch das unbedeckte Kupfer zeigten, so auf jene Bäusche legte, daß er mit der einen kupfernen Endfläche den einen Bausch, mit dem Zinkmantel den andern Bausch berührte. Der Multiplicator wies dann ebenso einen Strom nach, wie beim Muskel. Da aber nicht blos der ganze Muskel, sondern auch jedes Stück desselben einen Strom erzeugt, so muß man sich jeden Muskel gleichsam seiner Länge nach aus einer ganzen Reihe elektromotorischer Elemente zusammengesetzt denken, deren jedes zwei entgegengesetzt liegende negativ elektrische Endflächen und dazwischen eine positiv elektrische Zone hat.

Aber nicht blos die Muskeln, sondern auch die Nerven des thierischen Körpers wirken, wie Du Bois-Reymond nachgewiesen hat, elektromotorisch. Dieser Nervenstrom ist ganz denselben Gesetzen unterworfen, wie der Muskelstrom. Auch die Nerven sind, wie die Muskeln, fortwährend als im Zustande der geschlossenen Kette zu betrachten, und jeder Strom, den man von ihnen erhält, ist nur als

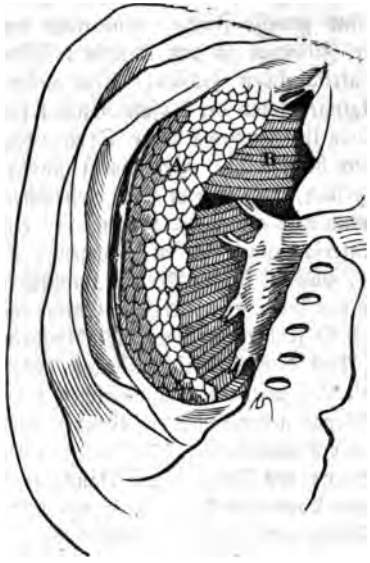
durch Nebenschließung erhalten, als abgeleiteter Stromarm anzusehen. In dem gewöhnlichen elektromotorischen Zustande eines Nerven lassen sich jedoch interessante Veränderungen hervorrufen, wenn man durch irgend ein Stück des Nerven einen von außen kommenden elektrischen Strom leitet. Nicht blos dieses Stück, sondern der ganze Nerv wird dann in einen eigenthümlichen Zustand versetzt, den Du Bois-Reymond den etektrotonischen nennt, und in welchem nicht blos die durch Nebenschließung abgeleiteten Ströme zur Wahrnehmung kommen, sondern zugleich noch ein Strom erregt wird, der eine der Volta'schen Säule entsprechende Anordnung der Moleküle voraussetzt. Der Uebergang aus dem einen in den andern Zustand oder der Wechsel in der Lagerung der Atome ist es, was wir beim Schließen und Oeffnen einer Kette als Zuckungen empfinden.

Wenngleich die Muskeln und Nerven aller Thiere der Sitz elektromotorischer Kräfte sind, so sind es doch nur einzelne Thiere, welche noch einen besondern Apparat zu kräftiger Elektricitätserregung besitzen. Solche elektrische Thiere sind gewisse Fische, namentlich der Zitterrochen im Mittelmeere, der Zitteraal in den Landseen Südamerika's, der Zitterwels in den afrikanischen Flüssen. Ihre außerordentlich kräftigen Wirkungen entgingen schon der Aufmerksamkeit der Alten nicht, obschon eine gründliche Untersuchung ihrer Organe sich erst aus den letzten Jahrhunderten herschreibt. Bei einem starken Zitteraal kann der Schlag so heftig sein, daß er dem einer elektrischen Batterie von 15 Flaschen gleichkommt und also wohl geeignet ist, ein Pferd zu betäuben. Vielfache Untersuchungen haben nachgewiesen, daß sich diese elektrischen Schläge, obwohl sie ein Act des thierischen Willens sind, durch nichts von den gewöhnlichen elektrischen Entladungen unterscheiden. Man kann durch sie Funken erzeugen, Stahlnadeln magnetisiren, Wasser zersetzen. Auch das elektrische Organ dieser Thiere hat eine auffallende Aehnlichkeit mit einer galvanischen Batterie. Dasselbe besteht aus einer Menge neben einander stehender, aus dünnen häutigen Zellen aufgeschichteter Säulchen (Fig. 171), welche beim Zitterrochen quer auf die Längsrichtung des Thieres vom Bauche zum Rücken (Fig. 172), beim Zitteraal vom Kopfe zum Schwanze laufen, beim Zitterwels den ganzen Körper des Fisches unter der Oberhaut umgeben. Jedes Säulchen ist von dem benachbarten durch eine dichtere, sehnichte Membran geschieden, die, wie es scheint, ähnliche Dienste leistet, wie die Glasstäbe, zwischen denen man die galvanische Säule aufbaut. Jedes Säulchen besteht wieder aus einer Menge auf einander ge-

ſchichteter, feiner Blättchen, die durch klebrige Zwiſchenſchichten von einander getrennt ſind, und auch darin der galvaniſchen Säule gleichen (Fig. 171).

Fig. 171.

Fig. 172.



In dieſem Organe vertheilen ſich zahlreiche Nervenſtränge, die von einem Theile des Gehirns kommen, den man bei andern Fiſchen nicht findet, von einem vierten Lappen nämlich, den man darum den elektriſchen Lappen nennt. Man kann ſich eine annähernde Vorſtellung von dem Vorgange bilden, welcher der ungewöhnlichen Elektricitätserregung dieſes Organs zu Grunde liegt, wenn man annimmt, daß durch den Reiz, welcher mittelbar oder unmittelbar auf den elektriſchen Gehirnlappen ausgeübt wird, alle von ihm ausgehenden Nerven und dadurch wieder alle von dieſen berührten Platten des elektriſchen Organs in einen elektrotoniſchen Zuſtand verſetzt werden. Jede Platte erhält dadurch gewiſſermaßen zwei verſchiedene Seiten, eine poſitiv- und eine negativelektriſche, und alle zuſammen bilden mit den dazwiſchenliegenden Flüſſigkeitsſchichten in der That eine Art Volta'ſcher Säule, deren kräftige Wirkungen hinreichend durch die große Zahl der Elemente erklärt werden.

Verbrennungswärme und thierische Wärme.

Jede chemische Verbindung ist von einer Wärmeentwickelung begleitet, wenn nicht etwa eine gleichzeitig stattfindende Aenderung des Aggregatzustandes eine scheinbare Ausnahme bedingt. Die gewöhnlichste und reichste Wärmequelle ist aber diejenige chemische Verbindung, die wir als Verbrennung bezeichnen. Im engeren Sinne versteht man darunter die lebhafte, unter Wärme- und Lichterscheinungen vor sich gehende Verbindung der Körper, besonders der Hauptbestandtheile unserer Brennstoffe, des Kohlenstoffs und Wasserstoffs, mit Sauerstoff. Im weiteren Sinne muß man aber auch die Verbindungen mit andern Stoffen, namentlich mit dem Chlor, darunter begreifen, da auch diese oft so lebhaft werden können, daß sie Wärme und Licht entwickeln. Man kann sich davon überzeugen, wenn man feinzertheiltes Antimon in eine mit Chlorgas gefüllte Flasche schüttet.

Um die bei der Verbrennung frei werdenden Wärmemengen zu bestimmen, bedient man sich einer Vorrichtung, die man Calorimeter nennt, und die es gestattet, die Verbrennung in einem Raume vorzunehmen, der von allen Seiten von Wasser umschlossen ist. Aus der Temperaturerhöhung dieser Wassermenge kann man dann die Wärmeeinheiten berechnen, weche bei der Verbrennung einer bestimmten Menge einer Substanz entwickelt werden. Bezeichnen wir wieder als Wärmeeinheit diejenige Wärmemenge, welche erforderlich ist, um die Temperatur von 1 Kilogramm Wasser um 1° C. zu erhöhen, so erhalten wir nach den Versuchen von Andrews folgende Resultate:

Verbrannte Substanz	Wärmeeinheiten, welche entwickelt werden, durch die Verbindung von	
	1 Gramm der Substanz mit Sauerstoff	1 Gramm Sauerstoff mit der Substanz
Wasserstoffgas	33,808	4,226
Kohlenoxydgas	2,431	4,255
Grubengas	13,108	3,275
Oelbildendes Gas	11,942	3,483
Kohle	7,678	2,879
Schwefel	2,307	2,307
Alkohol	6,850	3,282
Phosphor	5,747	4,509
Zink	1,301	5,366
Eisen	1,181	4,134

Unter allen verbrennenden Körpern ist es hiernach der Wasserstoff, der die meiste Wärme erzeugt. Die Verbrennung von 1 Kilogramm Wasserstoff reicht hin, um fast 34,000 Kilogramm Wasser um 1° C. zu erwärmen, während 1 Kilogramm Kohle höchstens 7700 Kilogramm Wasser um 1° erwärmen wird. Von unsern gewöhnlichen Heizstoffen, deren Wirkung vorzugsweise auf der Verbrennung des Kohlenstoffs beruht, ist die Holzkohle der beste. 1 Kilogramm Holzkohle erzeugt ungefähr 7500 Wärmeeinheiten, 1 Kilogramm gute Steinkohlen 7000, 1 Kilogramm Coaks 6600, 1 Kilogramm lufttrockenes Holz 2900, 1 Kilogramm gewöhnlicher Torf nur 1500 Wärmeeinheiten.

Bei zusammengesetzten Körpern kann man im Allgemeinen annehmen, daß die Verbrennungswärme derselben der Summe der Verbrennungswärmen ihrer Bestandtheile gleich ist. Doch gilt dies bei höher zusammengesetzten Körpern nicht mehr.

Ueber die Wärmemengen, welche durch andere chemische Verbindungen, namentlich die Verbindung von Säuren mit Basen erzeugt werden, sind gleichfalls zahlreiche Versuche angestellt worden. Nach Favre und Silbermann werden folgende Wärmeeinheiten erzeugt durch Verbindung von

1 Kilogramm	mit Schwefelsäure	mit Salpetersäure	mit Salzsäure
Kali	342	330	333
Natron	520	493	493
Ammoniak	565	527	521
Kalk	670	605	606
Eisenoxydul	308	268	273
Zinkoxyd	253	203	203

Bei diesen Untersuchungen hat sich zugleich unzweifelhaft herausgestellt, daß die durch eine chemische Verbindung erzeugte Wärmemenge unter allen Umständen dieselbe ist, mag die Verbindung mittelbar oder unmittelbar, langsam oder schnell vor sich gehen. Ebenso ist dadurch erwiesen worden, daß bei der Trennung chemisch mit einander verbundener Stoffe genau dieselbe Wärmemenge gebunden wird, welche bei der Verbindung derselben frei wird.

Wenn aber chemische Processe Wärme erzeugen, so kann es keinem Zweifel unterliegen, daß auch die thierische Wärme ein Erzeugniß der beständig im Innern des Organismus vor sich gehenden Processe ist, und daß sie nicht, wie man noch zu Boerhave's Zeit meinte, durch die Reibung des Blutes an den Wänden der Gefäße hervorgebracht

wird. Daß jedes Thier Wärme erzeugt, geht daraus hervor, daß seine Blutwärme stets etwas höher ist, als die Temperatur des Mittels, in welchem es lebt. Die Temperatur des Menschen beträgt im Mittel 37° C. Alter und Klima, Gesundheit und Krankheit ändern diese Temperatur nur wenig. In der heißen Zone ist sie allerdings etwas höher, doch niemals auch nur um 1° C. Die meisten Säugethiere haben eine ähnliche Temperatur; beim Hund und bei der Katze beträgt sie 38 bis 39°, beim Affen sogar $39,_7$° C. Die Vögel haben eine bedeutend höhere Blutwärme; beim Papagey beträgt sie 41°, bei der Taube 42°, beim Huhn sogar gegen 43° C. Aber auch die sogenannten kaltblütigen Thiere zeigen immer eine die äußere Luft- und Wassertemperatur etwas übertreffende Körperwärme. Bei der Schildkröte beträgt sie nach Davy's Beobachungen $28,_9$° bei einer Temperatur des umgebenden Wassers von 26°, bei der Forelle $14,_7$°, während das Wasser, in dem sie lebte, $13,_3$° warm war.

Die Hauptquelle dieser thierischen Wärme ist in der Nahrung zu suchen, und namentlich in dem Kohlenstoff und Wasserstoff derselben, die mit dem Sauerstoff der eingeathmeten Luft in Berührung kommen und durch eine langsame Verbrennung in Kohlensäure und Wasser umgewandelt und als solche durch die Lungen und auf andern Wegen aus dem Körper ausgeschieden werden. Die langsame Verbrennung aber muß, wie wir gesehen haben, dieselbe Wärmemenge erzeugen, wie die schnelle. Durch Versuche, die man an Thieren angestellt hat, ist erwiesen, daß in der That mindestens 8 bis 9 Zehntel aller thierischen Wärme durch die Athmung erzeugt wird. Andere im Organismus vor sich gehende Processe mögen die übrige Wärme erzeugen. Aus dieser Abhängigkeit der thierischen Wärme von der Nahrung ist es wohl begreiflich, daß das Thier in kälterer Umgebung, im Winter, in kalten Klimaten, um die gleiche Blutwärme zu erhalten, dem Körper mehr Kohlenstoff zuführen muß, daß der Nordländer darum kohlenstoffreicherer Nahrung bedarf, als der Südländer. Durch diese Abhängigkeit von der Nahrung tritt der Organismus aber auch ein in den großen Kreislauf der physikalischen Kräfte. Wärme und Licht der Sonne sind es, welche das Wachsthum der Pflanze bedingen, welche die Verbindungen erzeugen, deren der thierische Organismus zur Nahrung bedarf. Nahrungsmittel sind aufgespeicherte Sonnenwärme. Im Organismus werden diese gebundenen Kräfte wieder frei, wird die Nahrung zurückverwandelt in Wärme und chemische Processe, und Wärme und chemische Thätigkeit sind wieder die Quellen der Arbeit. Jede Arbeit, die

der Mensch verrichtet, die Anstrengung, mit welcher er den Arm hebt, die denkende Thätigkeit des Gehirns, ist nur eine Umwandlung der vorhandenen Kraft, fordert einen Ersatz durch frische Zufuhr chemischer Kraft.

Sechstes Kapitel.

Die Verwandlung physikalischer Kräfte in Sinnesempfindungen.

Wenn alle Naturerscheinungen nichts Anderes als Bewegung, und was wir Naturkräfte nennen, nichts Anderes als verschiedene wandelbare Formen dieser Bewegung sind, so muß zuletzt auch unsere Wahrnehmung dieser Naturerscheinungen, unsere Empfindung der Eindrücke, welche diese Bewegung auf unsern Organismus macht, auf Bewegungen hinauslaufen. Diese Wahrnehmung bildet jedenfalls einen wesentlichen Theil der allgemeinen Naturlehre, da sie es ist, durch welche die Wirkungen der Naturkräfte am häufigsten, wenn auch nicht am klarsten hervortreten. Leider gehören die Vorgänge, welche dieser Wahrnehmung zu Grunde liegen, zum Theil noch zu den schwierigsten und geheimnißvollsten Gegenständen der Forschung. Diese Vorgänge müssen wir indeß wesentlich in zwei Gruppen trennen, von denen die eine nur bestimmt ist, die äußeren Erscheinungen entgegenzunehmen und vorzubereiten für das empfindende Organ, die andere die Fortführung und Mittheilung des empfangenen Eindruckes an das empfindende Organ und die Verwandlung durch dasselbe in die Empfindung selbst und weiter in Vorstellungen und Willensacte besorgt. Das empfindende Organ des Menschen sendet gleichsam zahllose feine Fühlfäden nach allen Seiten aus, an welche die Außenwelt mit ihren Erscheinungen und Bewegungen herantritt. Diese Fühlfäden, die Nerven, empfangen die Eindrücke der Außenwelt entweder unmittelbar oder doch wenigstens nur vermittelt durch die allgemeine Körperbedeckung, oder sie empfangen sie erst vorbereitet durch besondere, nach physikalischen Gesetzen eingerichtete Apparate, die Sinnesorgane. So beruht die Wahrnehmung der Körperlichkeit nur auf dem Widerstande, der den bewegten Theilchen des eigenen Körpers entgegengesetzt wird. Auch die Empfindung der Wärme wird nur vermittelt durch die gewöhnlichen Wirkungen der Wärme auf die Körpersubstanz, durch Ausdehnungen bei Mittheilung der Wärme, durch Zusammenziehungen bei Entziehung der Wärme. Sehr starke Wärmewirkungen, die eine Verletzung oder Zerstörung des organischen Baues veranlassen, bewirken darum die

völlig gleiche Empfindung, den Schmerz des Verbrennens, mögen sie als Wärmemittheilung oder als Wärmeentziehung, als große Wärme oder als große Kälte auftreten. Ganz anders aber gestaltet sich die Wahrnehmung derjenigen Bewegungen in der Natur, die wir als Schall und Licht kennen gelernt haben. Für sie sind besondere vermittelnde Organe vorhanden, welche dem empfindenden Centralorgane es möglich machen, theils feinere Unterschiede in diesen Bewegungen aufzufassen, theils über den Ort, die Form und die Beschaffenheit der sie veranlassenden Ursache ein Urtheil zu gewinnen. Diese Organe sind physikalische Apparate und darum der Forschung an sich nicht unzugänglich, wenn auch erhebliche Schwierigkeiten aus dem zarten, oft mikroskopischen Baue mancher Theile derselben entstehen.

Das Gehörorgan.

Das Organ für die Schwingungswellen des Schalls und der Töne ist das Ohr. Seine Bestimmung ist wesentlich, die von außen kommenden Schwingungswellen in einem kleinen Raume für den empfindenden Nerv wieder zu erzeugen. Die einfachste Form des Gehörorgans bei niederen Thieren, Muscheln, Schnecken, Ringelwürmern, ist daher ein geschlossenes, mit Flüssigkeit gefülltes Säckchen, an dessen Wänden die Fasern des Gehörnerven auslaufen. Aber schon bei den einfachsten Gehörorganen treten außer der die Eindrücke leitenden Flüssigkeit und dem sie empfangenden Nerv noch Kalksalze auf, welche entweder als kleine Steinchen in der Flüssigkeit des Gehörsäckchens schweben, oder sich in den Wandungen des Organs ablagern. Diese für das Gehörorgan so überaus bezeichnenden Kalkablagerungen, die meist zu den härtesten Theilen des ganzen Skeletts gehören, sind offenbar bestimmt, vermöge der besseren Leitungsfähigkeit fester Körper, die Schallwellen schnell fortzuführen und sie zu hindern, mehr als augenblickliche Einwirkungen auf den Gehörnerv auszuüben, da längere Nachschwingungen im Ohre äußerst störend sein würden.

Die verschiedenen Lebensverhältnisse höherer Thiere bedingen eine mannigfaltigere Gestaltung des Gehörorgans schon wegen des Einflusses, welchen die verschiedenen Mittel, in welchen die Thiere leben, auf Leitung und Bewegung der Schallwellen ausüben. Thiere, die im Wasser leben, bedürfen keiner besondern Apparate zur Fortleitung der Schwingungen zum Gehörnerv. Der Schall, welcher vom Wasser her die Schädelwandung trifft, wird durch Resonanz verstärkt und geht leicht zur Flüssigkeit des Gehörsäckchens und durch diese zum Nerv über.

Indessen hat das Gehörsäckchen schon bei den Fischen seine Gestalt verändert und sich zum häutigen Labyrinth mit drei halbzirkelförmigen Canälen erweitert. Noch liegt es gewöhnlich ganz innerhalb der Schädelhöhle, rings von ihren Knochen umschlossen. Nur bei einigen Fischen zeigen sich bereits Oeffnungen an der Seite des Kopfes, welche nach außen durch dünne Häute verschlossen sind, nach innen mit dem Gehörnerv in Verbindung stehen. Die Haut dieses Loches, des sogenannten ovalen Fensters, welches sich auch bei Krebsen und Heuschrecken findet, wird bei Salamandern und Schlangen von einem kleinen länglichen Knochen bedeckt, der sich bei Schildkröten, Eidechsen und Fröschen sogar schon an einer zweiten ausgespannten Haut, dem sogenannten Trommelfelle, befestigt. Zwischen ovalem Fenster und Trommelfelle entwickelt sich nun die Höhle des mittleren Ohres. Bei den Vögeln bildet sich bereits über das Trommelfell hinaus ein kurzer äußerer Gehörgang, welcher die Schallwellen zum Trommelfelle leitet, und der sich bei den Säugethieren endlich zur knorpeligen Ohrmuschel erweitert, in welcher die zerstreuten Schallwellen gesammelt werden.

Nachdem die Schallwellen durch Ohrmuschel (a, Fig. 173) und Gehörgang (b) an das über einen knöchernen Ring aufgespannte Trom-

Fig. 173.

Fig. 174.

Fig. 175.

melfell (Fig. 174) gelangt sind, werden sie durch die Schwingungen desselben auf die zusammenhängende, aber bewegliche Kette der drei Gehörknöchelchen, den Hammer (d), den Ambos (e) und den Steigbügel (f) fortgeleitet. Der mit einem langen Stiele in das Trommelfell eingefügte Hammer (m, Fig. 175), welcher die Schwingungen zu-

nächst empfängt, ist durch seinen Kopf beweglich eingelenkt in eine Vertiefung des Ambos (a), welcher ebenfalls beweglich durch ein linsenförmiges Knöchelchen (l) mit dem Steigbügel (f) verbunden ist. Durch einen Muskel des Hammers kann das Trommelfell willkürlich stärker und schwächer angespannt und dadurch für die Auffassung höherer oder tieferer Töne geeignet gemacht werden.

Der weite, knöcherne, von Luft erfüllte Raum, in welchem sich die Gehörknöchelchen befinden, die sogenannte Trommelhöhle, bildet den Uebergang zum inneren Ohre. Damit die durch den Reflex an den festen Wänden der Trommelhöhle verstärkten Schallschwingungen allein in die Knöchelchen übertreten und nicht ein Selbsttönen des geschlossenen Luftraumes erzeugen, damit zugleich die erwärmte Luft der Höhle das Trommelfell nicht zu stark spanne, besitzt sie eine in den Rachen mündende Oeffnung, die Eustachische Trompete, durch welche die Luft im Gehörgange sich mit der in der Trommelhöhle beständig in's Gleichgewicht setzt, und die zugleich, wie die Oeffnung in der Violine, die Resonanz der Wände erhöht. Das letzte Knöchelchen, der Steigbügel, sitzt mit seiner Platte auf der Haut des ovalen Fensters auf, welches in den Vorhof des Labyrinthes führt. Eine zweite runde Oeffnung führt dann zur Schnecke. Auch diese ist durch ein elastisches Häutchen geschlossen, welches durch den Druck des Steigbügelmuskels gegen die Flüssigkeit des Labyrinths in verschiedene Grade der Spannung versetzt werden kann. So gelangen die Schallschwingungen vom Trommelfelle her durch die Gehörknöchelchen zur ovalen, durch die Luft der Trommelhöhle zur runden Oeffnung des Vorhofs, also zum innern Ohre, das, ursprünglich ein einfaches Säckchen, im höheren Organismus sich zu Labyrinth und Schnecke entwickelt hat.

Von dem Vorhofe (a, Fig. 176, S. 666), dem eigentlichen Ueberreste des ursprünglichen Säckchens, laufen die drei häutigen und mit Flüssigkeit erfüllten Gänge des Labyrinths (h, Fig. 173 u. b, c, d, Fig. 176) aus, welche, in drei verschiedenen Ebenen liegend und mit einander verschlungen, bogenförmig zum Vorhofe zurückkehren. Auch äußerlich von einer Flüssigkeit (e) umspült und von einer knöchernen Hülle (f) umgeben, liegen sie in die außerordentlich harte Knochenmasse des Felsenbeins eingegraben. Im Vorhofe und in den sackförmigen Erweiterungen (h) der Bogengänge breitet der Gehörnerv seine Zweige (g) aus, um die Eindrücke der schwingenden Flüssigkeiten entgegenzunehmen.

Der räthselhafteste Theil des Ohres endlich ist die Schnecke (A), ein $2^1/_2$mal um eine hohle Spindel gewundener knöcherner Canal, der durch ein feines, eben so gewundenes Blatt, das Spiralblatt, in zwei

Fig. 176.

Gänge oder Treppen getheilt ist, die in den Vorhof auslaufen. Während das Spiralblatt der hohlen Spindel zunächst aus fester Knochensubstanz gebildet ist, besteht sein übriger Theil aus einer glashellen Masse und trägt senkrechte Reihen zahnartiger Gebilde, die als stabförmige, in feine Fäden auslaufende Körper erscheinen, über deren Bedeutung für die Empfindung und Unterscheidung der Töne man aber noch keinen ganz genügenden Aufschluß gefunden hat. Jedenfalls ist die Schnecke das Organ, in welchem der Nerv vorzugsweise die Eindrücke empfängt, da hier Faser an Faser des in der Spindel aufsteigenden Astes des Hörnerven liegt. Die Schwingungen werden ihm durch die Flüssigkeit mitgetheilt, welche die Schnecke bespült, und zu welcher sie wieder durch die Erschütterungen der festen Theile des Schädels gelangen.

Das ist der complicirte Bau des vollkommenen Gehörorgans. Feste, flüssige und luftförmige Körper wirken zusammen, um die Schallschwingungen fortzuleiten. Gehörgang, Trommelfell, Gehörknöchelchen, Trommelhöhle und die Flüssigkeiten des Labyrinths und der Schnecke bezeichnen den Weg, auf dem die Wellen des Schalls zum

Nerv vordringen. Der in einer Fläche ausgebreitete Nerv nimmt sie auf und theilt sie dem Gehirn mit. Das Gehirn empfindet sie als Töne, und diese Töne wirken weiter auf das Gemüth und bestimmen selbst den Willen zu Aeußerungen der Muskelthätigkeit. So wird das Ohr zu einem mächtigen Vermittler zwischen der Außenwelt und der innern Welt des Menschen.

Das Sehorgan.

Schon die Zartheit der Lichtwellen läßt erwarten, daß der Bau des physikalischen Apparates, welcher den Verkehr derselben mit dem empfindenden Nerv des Organismus vermittelt, eine große Mannigfaltigkeit darbieten muß. Wenn auch das Licht selbst allenthalben und unter allen Umständen dasselbe ist, so kann es doch für den optischen Apparat des Thieres nicht gleichgültig sein, ob das Licht aus dichterem oder dünnerem Mittel, ob es immer aus demselben oder wechselnd bald aus dichterem, bald aus dünnerem Mittel zum Auge gelangt, ob es ein kräftiges oder geschwächtes, von einer Gesammtheit naher und ferner Gegenstände, oder nur von einzelnen nahen Objecten kommendes ist, selbst, ob der Kopf, welcher das Auge trägt, mehr oder minder beweglich ist. Lebenselement und Lebensweise der Thiere bedingen also eine Menge von Formunterschieden ihres Sehorgans, die durchaus nicht immer der Stellung entsprechen, welche ein Thier nach der Gesammtheit seiner Organisation in der Stufenreihe der Wesen einnimmt.

Nur wenige Thiere giebt es, die jedes Sehorgans entbehren. Es sind Thiere, die in ewigem Dunkel zu leben bestimmt sind, Eingeweidewürmer, aber selbst Krebse und Fische, die in dunkeln Höhlen leben. Es ist unzweifelhaft, daß der Mangel des Lichteindrucks mit dieser Augenlosigkeit im Zusammenhange steht, obgleich diese Unterdrückung eines Organs selbst bei hochorganisirten Thieren durch den Mangel des Bedürfnisses noch zu den größten Räthseln der Forschung gehört. Sonst tritt, so weit das Reich des Lichts sich ausbreitet, uns auch das empfangende Organ des Lichts, das Auge, entgegen.

In der einfachsten Form des Sehorgans zeigt sich das Ende des Sehnerven nur von einer durchsichtigen Hülle geschützt und meist von einem dunkeln Pigment umgeben, durch welches es sich dem Beobachter oft allein bemerklich macht. Ein solcher Sehapparat kann natürlich nur zu einer Unterscheidung von hell und dunkel dienen, wie es auch

ganz der Lebensweise dieser niederen Thiere, Ringelwürmer, Seesterne, Quallen, und namentlich der Stellung der Augen entspricht, die sich oft auf der untern Fläche der Bewegungsorgane befinden und daher auch nur den allgemeinsten Lichteinflüssen zugänglich sind.

Ein Fortschritt im Bau des Sehorgans ist bedingt, wenn nicht mehr blos Helligkeitsunterschiede, sondern Umrisse, Bilder der Gegenstände zur Wahrnehmung kommen sollen. Das Licht, welches von getrennten leuchtenden Punkten ausgeht, muß dann auch getrennt, also mittelst verschiedener Nervenfasern empfunden werden. Jeder Nervenfaser darf daher auch nur ein bestimmtes Gesichtsfeld entsprechen, so daß die Wahrnehmung unterscheiden kann, in welchem Gesichtsfelde ein leuchtender Punkt liegt. Das Sehen wird also um so schärfer und sicherer sein, je kleiner die einzelnen Gesichtsfelder, je größer zugleich ihre Gesammtzahl ist, und am vollkommensten, wenn die Größe des einzelnen Gesichtsfeldes gegen das Gesammtgesichtsfeld verschwindet, d. h. wenn das Licht, welches von einem leuchtenden Punkte der Außenwelt kommt, auch nur auf einen Punkt der lichtempfindenden Nervenmasse fällt. Dieser Zweck kann aber in doppelter Weise erreicht werden, entweder durch eine wirkliche Vielheit von Augen, die, durch undurchsichtige Scheidewände getrennt, gleichsam eine Menge selbstständiger Gesichtsfelder darstellen, oder durch eine Brechung des Lichtes an gekrümmten brechenden Flächen, durch welche eine Wiedervereinigung der von einem leuchtenden Punkte ausgehenden Strahlen in einem Punkte der Nervenmasse bewirkt wird. Die Natur hat zwar im Bau des Auges diese beiden Wege nicht ganz streng aus einander gehalten; aber doch sehen wir den einen unverkennbar im Insectenauge, den andern im Auge des Wirbelthieres vertreten.

Das zusammengesetzte Auge des Insects erscheint zunächst aus einer Anzahl sechseckiger Hornhäute oder Facetten bestehend, die nach außen ziemlich eben sind, nach innen aber oft linsenartige Vorsprünge bilden und durch kleine Oberflächengrübchen von einander getrennt sind, so daß die Augenfläche das Ansehen eines schönen Mosaikbodens gewinnt. Hinter jeder Hornhaut befindet sich ein kegelförmiger Glaskörper, der sich mit seiner Spitze gegen die Nervenmasse erstreckt und rings von einer trichterförmigen, dunkeln Pigmentscheide umgeben ist. Die Spitze dieses Kegels verläuft sich in die becherartige Anschwellung des optischen Nerven, der sich rückwärts in die gemeinsame Netzhaut ausbreitet. Jede dieser sechseckigen Augenröhren, deren Zahl bei der Stubenfliege 4000, bei den Schmetterlingen sogar 17,355 beträgt,

bildet also gleichsam ein selbstständiges, mit den andern nur durch den gemeinsamen Hauptnerven in Verbindung stehendes Aeuglein. Da in ein solches Auge nur in der Richtung der Axe wirksame Strahlen einfallen können, so bleibt natürlich der größte Theil des von einem Gegenstande ausgehenden Lichtes wirkungslos; die Bilder bleiben dunkel und erfordern eine außerordentliche Empfindlichkeit der Netzhaut, um empfunden zu werden. Aber zugleich geht aus dieser Einrichtung die für die Lebensweise dieser Thiere höchst wichtige Fähigkeit hervor, auch die allerkleinsten Gegenstände mit großer Schärfe wahrzunehmen. Freilich dürfte von einem Urtheile über Nähe und Ferne des gesehenen Gegenstandes bei solchem Auge kaum die Rede sein.

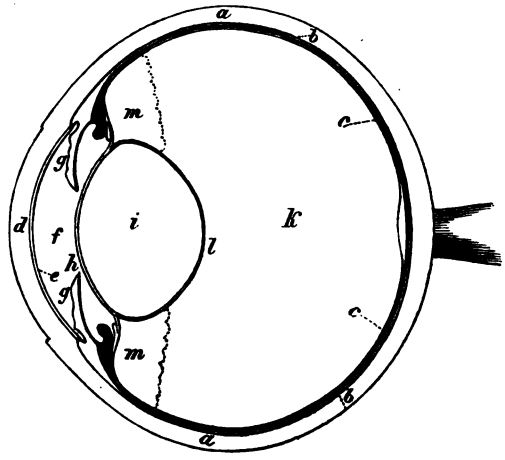
In diesem Urtheile über Entfernungen und räumliche Beziehungen der Außenwelt überhaupt, in der Körperlichkeit der Gesichtseindrücke und namentlich auch in der zarten Empfänglichkeit für die Farben der Außenwelt ist die wichtige Schranke zu suchen, welche die Natur zwischen dem Auge des Gliederthieres und dem Auge des Wirbelthieres gezogen hat. Nur das Auge des Wirbelthieres kennt eine wirkliche Perspective und schaut wirkliche Körper. Der Bau dieses Auges, dessen Vorzüge auf der Wirkung verschiedener brechender Mittel beruhen, tritt uns am vollkommnsten im menschlichen Auge entgegen.

Dicht unter der Stirn, deren Gewölbe das große Gehirn bedeckt, thront das menschliche Auge, frei beweglich nach allen Seiten, in weiter Ferne die Umgebung beherrschend. Umhüllt von einem elastischen Fettpolster, ruht der Augapfel in der trichterförmigen, knöchernen Augenhöhle, in deren Tiefe der Sehnerv als dicker Stamm aus der Schädelhöhle hervortritt, um sich in den Augapfel einzusenken. Starke Knochenwände schützen ihn von oben und unten, während vorn zwei Hautfalten, die Lider, diesen Schutz übernehmen, welche durch Muskelfasern befähigt sind, sich wie ein Vorhang vor dem Auge auf- und niederzuziehen. Im Schatten einer Reihe zarter Haare, der Wimpern, welche auf dem Rande der Lider stehen, erfüllen die zarten und feinen Gebilde des Auges die große Aufgabe, die Außenwelt in das Gehirn des Menschen einzuführen.

Der Sehnerv, welcher bestimmt ist, die Eindrücke des Lichtes zu empfangen, dringt durch die Augenhöhle vor und breitet seine letzten zarten Fasern auf der inneren Fläche der halbkugelig gekrümmten Netzhaut aus. Die ziemlich dicke Scheide, welche den Sehnerv vor seiner Ausbreitung umschließt, dehnt sich in ihrer Fortsetzung als harte Haut

oder Sclerotica (a, Fig. 177) schützend über die Netzhaut aus. Vor dieser Netzhaut (c) liegt der eigentliche optische Apparat, durch welchen die einfallenden Lichtstrahlen gebrochen, die störenden aufgefangen, die im Hintergrunde des Auges gespiegelten beseitigt werden. Nach vorn wird die Kugel des Augapfels von einer stark convex gekrümmten, durchsichtigen, ziemlich dicken und glatten Haut, der Hornhaut oder Cornea (d) geschlossen. Ueber dieser liegt ein dünnes, ebenfalls durch-

Fig. 177.



sichtiges, aber allmälig dicker werdendes Häutchen, welches sich an den Augenlidern umschlägt und nichts Anderes als eine Fortsetzung der äußeren Haut ist, die Bindehaut des Auges und der Augenlider genannt. Zunächst unter der Hornhaut befindet sich ein mit einer wässerigen Flüssigkeit gefüllter Raum (f), welcher bis zur Linse reicht. Durch eine ringförmige, gefärbte, nach innen schwarze Hautfalte, die Regenbogenhaut oder Iris (g), wird dieser Raum in die vordere und hintere Augenkammer getheilt. Der Iris entsprechend, aber ohne mit ihr zusammenzuhängen, zieht sich auf der hintern Fläche des Auges zwischen der Netzhaut und der harten Haut eine ebenfalls, aber viel dunkler, fast schwarz gefärbte und von zahlreichen Gefäßen durchwebte Haut, die Aderhaut oder Choroidea (b), hin, welche an der Grenze der Hornhaut und der harten

Haut durch ein ringförmiges Gebilde angeheftet ist, von welchem aus sie gegen die Mitte der Iris hin einige 70 leistenförmige Fortsätze, die sogenannten Ciliarfortsätze, sendet. Diese schwarze Aderhaut ist es, welche wir von außen durch das Loch in der Iris, die Pupille, im Hintergrunde des Auges erblicken, und welche im Vereine mit der bald heller, bald dunkler, bald braun, bald blau gefärbten Iris dem Auge seinen eigenthümlichen Ausdruck verleiht. Zwischen diesen beiden Häuten eingeschlossen, den einzigen außer der weißen Hornhaut, welche wir äußerlich am lebenden Auge erblicken, liegen zwei glashelle Körper, die Linse und der Glaskörper. Die Linse (i), welche durch die Linsenkapsel (l) geschützt ist, besteht aus äußerlich zarten, durchsichtigen Fasern, welche wie die Schichten einer Zwiebel über einander liegen, nach innen immer dichter werdend und gleichsam einen festen Kern umschließend. Der Glaskörper (k), welcher den übrigen Raum der ganzen Hohlkugel einnimmt, ist gleichfalls von einer Menge durchsichtiger Häutchen gebildet, zwischen denen sich eine zähe, eiweißartige, völlig klare Flüssigkeit befindet.

Die Lichtstrahlen, welche in das Auge fallen, haben zunächst diese lichtbrechenden Theile des Auges, die Hornhaut, die wässerige Flüssigkeit, die Linse und den Glaskörper zu durchdringen. Hier erleiden sie Brechungen, und zwar in Folge der verschieden gekrümmten Oberflächen und der verschiedenen Dichtigkeiten dieser Körper solche Brechungen, daß sie auf der Netzhaut vereinigt werden. Die Iris wirkt dabei ähnlich dem Diaphragma an Fernröhren; sie hält die seitlich einfallenden Strahlen, welche eine stärkere Brechung erleiden und dadurch die Bilder trüben würden, von der Netzhaut ab. Durch ihre Fähigkeit, sich zu erweitern und zu verengern, ist sie im Stande, bald mehr, bald weniger Licht in das Auge eintreten zu lassen, und die Empfindlichkeit der Nerven, welche die Augenmuskeln in Bewegung setzen, läßt diese Bewegungen schnell und unwillkürlich erfolgen. Die Pupille erweitert sich darum bei dem Blicke in die Ferne, wie beim Sehen im Dunkeln; sie verengert sich, wenn der Blick auf nahe Gegenstände gerichtet oder das Auge von grellem Lichte getroffen wird. Die dunkle Färbung der Iris auf ihrer Rückseite und das Pigment der Aderhaut absorbiren zugleich alle störenden Lichtstrahlen und verhindern eine neue Zerstreuung des Lichtes im Innern des Auges. Wo dieses Pigment daher fehlt, wie bei den Albinos, ist auch das Sehen, besonders am Tage, ein sehr unvollkommenes, und wird erst bei schwächerem Lichte, in der Dämmerung oder Nacht deutlicher. Durch den eigenthümlichen Bau

der Linse, die allmälig zunehmende Dichtigkeit ihrer Schichten erreicht die Natur in sehr vollkommener Weise, was wir bei unsern optischen Instrumenten nur sehr unvollkommen durch Verbindung von Kron- und Flintglaslinsen erreichen, nämlich die Beseitigung der farbigen Ränder, mit denen sich die optischen Bilder in Folge der Zerstreuung der Lichtstrahlen umsäumen. Durch das Accommodationsvermögen des Auges, das besonders in der Fähigkeit kleiner Krümmungsänderungen der vordern Linsenfläche besteht, wird die gleiche Deutlichkeit der Bilder bei den verschiedensten Entfernungen der sie erzeugenden Gegenstände bewirkt. Endlich gestattet uns das Vorhandensein zweier Augen ein Körperlich-Sehen, indem die von einem Gegenstande in jedem Auge verschieden gestalteten Bilder in der Empfindung zusammenschmelzen. In dem Stereoskop ist dieser natürliche Vorgang des Sehens nachgeahmt. Zwei von etwas verschiedenen Standpunkten aufgenommene Zeichnungen oder Photographien eines Gegenstandes oder einer Landschaft werden neben einander gelegt und durch Linsengläser betrachtet, die so angebracht sind, daß sich ihre Axen in der deutlichen Sehweite schneiden, und die beiden Ansichten des Gegenstandes hier zusammenfallen.

Die Krankheiten des Auges und die Gesichtstäuschungen gehören mehr in das Gebiet der Physiologie als der Physik. Der wichtigsten optischen Instrumente zur Verschärfung des Sehens ist bereits an anderer Stelle gedacht worden.

Die Verwandlung der Kräfte im Organismus.

Nur bis zum empfindenden Nerv haben wir die Schwingungen des Schalles und des Lichtes bisher verfolgt. Ist ihnen hier die Grenze gesteckt, hört hier etwa das Gebiet der physikalischen Kräfte auf, beginnt hier vielleicht ein neues Gebiet der Lebenskräfte? Wie man auch denken möge vom Leben des Organismus, vernichtet kann an seinen Grenzen die Licht- oder Schallwelle so wenig werden, als an den Grenzen des starren Körpers. Wenn das Gesetz von der Erhaltung der lebendigen Kraft ein allgemeines ist, so muß es auch im Organismus gelten, so kann auch hier nur die physikalische Bewegung eine Verwandlung erfahren, eine veränderte Form annehmen. Die Art der Bewegung, welche der Eindruck der Licht- oder Schallschwingungen durch den Nerv zum Gehirn fortleitet, und welche wieder vom Gehirn aus Muskeln in Bewegung setzt, ist uns freilich noch unbekannt und

wird es noch lange, vielleicht für immer bleiben. Das Vorhandensein einer solchen Bewegung aber nachzuweisen, ist dem Forscher gestattet. Es bedarf dazu nur des Beweises, daß diese Fortleitung an eine Zeit gebunden ist, daß sie, wie jede Bewegung, mit meßbarer Geschwindigkeit geschieht.

So befremdend es im ersten Augenblicke erscheinen mag, daß zwischen dem sinnlichen Eindrucke und der Empfindung, oder zwischen der Empfindung und der dadurch angeregten Muskelbewegung eine Zeit verstreichen soll, da man für solche Bewegungen die unmeßbare Schnelligkeit des Gedankens in Anspruch nimmt, so fehlt es doch nicht an Erfahrungen, die eine solche Annahme nothwendig machen. Eine der interessantesten Beobachtungen dieser Art ist die von Bessel, jedenfalls einem der denkendsten Beobachter des Himmels, gemachte. Zu einer der schwierigsten Aufgaben des Astronomen gehört es nämlich von jeher, mit dem Auge den Durchgang eines Sterns durch das Fadenkreuz eines Fernrohrs zu beobachten und gleichzeitig mit dem Ohre die Pendelschläge der Uhr zu zählen, durch welche der Moment des Durchgangs bezeichnet wird. Es gilt dabei, den Unterschied in den Stellungen des Sterns zur Zeit des letzten Pendelschlags vor und des ersten nach dem Durchgange festzustellen, um zu entscheiden, in welchem Zehntheile der durch die beiden Pendelschläge begrenzten Secunde der Durchgang erfolgte. Bessel fand nun, daß, wenn mehrere Beobachter gleichzeitig dieselbe Messung vornahmen, trotz aller Geübtheit und Aufmerksamkeit und trotz der unleugbaren Gleichzeitigkeit der Eindrücke, sich doch stets ein auffallender Unterschied in den Resultaten ergab, und zwar ein Unterschied, der für dieselben Personen ein genau bestimmter und sich gleichbleibender war, der also nur durch die Persönlichkeit der Beobachter bedingt sein konnte. Zu erklären ist aber dieser Einfluß der Persönlichkeit nur dadurch, daß die Vermittelung der gleichzeitigen Schall- und Lichtempfindungen im Gehirn eine gewisse Zeit erfordert, und daß diese Zeit bedingt ist durch die verschiedene individuelle Organisation.

Mit dieser auffallenden Thatsache stimmen auch manche Erfahrungen gewöhnlicher Art überein. So ist es bekannt, daß eine schnell im Kreise geschwungene glühende Kohle als ein Feuerkreis erscheint, weil die Empfindung zwei um $^1/_{10}$ Secunde aus einander liegende Lichteindrücke nicht mehr zu trennen vermag. Es ist ferner bekannt, daß das Ohr auf einander folgende Stöße als schwirrendes Geräusch oder als Ton vernimmt, je nachdem weniger oder mehr als 32 Stöße auf

die Secunde kommen. Ebenso können wir das drei- oder viermalige Aufblitzen eines Lichtes an demselben Orte, oder drei oder vier Schallstöße, die etwa eine halbe Secunde aus einander liegen, wohl noch mit den Sinnen einzeln wahrnehmen, aber wir vermögen sie nicht mehr zu zählen, sondern zerlegen erst durch nachträgliches Besinnen die Wahrnehmung in ihre einzelnen Momente.

Durch solche Erfahrungen ist man von vornherein zu der Annahme berechtigt, daß eine meßbare Zeit zwischen dem Sinnenreize und der Empfindung verstreicht. Aber es ist auch gelungen, diese Zeit und damit zugleich die Geschwindigkeit der Bewegung zu messen. Ein leichter elektrischer Schlag dient als Reiz, und ein leichter Druck des Fingers bezeichnet das Ende der Bewegung, zugleich aber auch das Ende eines elektrischen Stroms, der mit jenem Schlage seinen Anfang genommen. Aus den Schwingungen einer Multiplicatornadel läßt sich genau die Dauer des Stromes berechnen. Diese Dauer entspricht aber der ganzen Zeit, welche zwischen dem Reize und der in Folge desselben unter dem Einflusse des Willens eingetretenen Muskelbewegung verfloß. Es wird damit also die Summe der Zeiträume gemessen, welche die Nervenleitung einerseits, die Gehirnthätigkeit andererseits beansprucht. Wenn man aber diese Messung wiederholt und dabei den Reiz an verschiedenen Hautstellen, dem Gehirn bald näher, bald ferner, einwirken läßt, so wird dadurch nicht die Dauer des Vorgangs im Gehirn, sondern nur die Zeit der Fortpflanzung in den Nerven geändert. Es ergiebt sich dann, daß z. B. eine Nachricht von der großen Zehe $^1/_{30}$ Secunde später ankommt, als eine vom Ohre oder Gesichte. Zieht man also von der durch die Messung erhaltenen Summe diejenigen Zeiträume ab, welche der Nervenleitung angehören, sowie die in ähnlicher Weise zu ermittelnden, welche der Muskel erfordert, um sich in Bewegung zu setzen, so erhält man die Zeit, welche im Gehirn verbraucht wird, um die geeigneten Anordnungen für die Muskeln zu treffen, also die Dauer dessen, was wir gewöhnlich als Willensthätigkeit bezeichnen.

Durch scharfsinnige Messungen dieser Art ist Helmholtz zu folgenden Resultaten gelangt: Die Nachricht von einem Eindrucke, der auf das Hautende empfindender Nerven gemacht ist, pflanzt sich mit einer für die verschiedenen Individuen ziemlich gleichen Geschwindigkeit von 180 Fuß in der Secunde, also fast fünfmal langsamer als der Schall, zum Gehirn fort. Im Gehirn vergeht eine Zeit von etwa $^1/_{10}$ Secunde, ehe der Wille auch bei der gespanntesten Aufmerksamkeit

im Stande ist, die Botschaft an diejenigen Nerven abzugeben, durch welche gewisse Muskeln zu einer bestimmten Bewegung veranlaßt werden sollen. Diese Zeit ist es, welche bei verschiedenen Personen und in verschiedenen Körper- und Seelenzuständen auf das Mannigfachste variirt und bei derselben Person nur bei der gespanntesten Aufmerksamkeit eine feste Regelmäßigkeit zeigt. Mit einer ähnlichen Geschwindigkeit, wie sie gekommen, läuft die Nachricht dann zu den Muskeln, und hier vergeht wieder etwa $^1/_{100}$ Secunde, ehe diese sich in Thätigkeit setzen. So verfließen $1^1/_2$ bis 2 Zehntheile einer Secunde zwischen dem ersten Reize, welcher eine Empfindung anregt, und der dadurch veranlaßten Bewegung eines Muskels.

Durch diese interessante Thatsache ist es erwiesen, daß auch die Empfindung nur auf einer Umwandlung physikalischer Bewegungen in eine neue Bewegungsform beruht, daß die kleine Welt des Organismus gerade so, wie die große Welt der Erden- und Himmelsräume, durch den Wechselverkehr der Kräfte erhalten wird, daß in dem Organismus so wenig wie außerhalb irgend eine neue Kraft geschaffen werden kann, daß auch das Leben nur schöpft aus dem allgemeinen Kräftevorrathe der Natur. Alles Leben ist Arbeit, und alle Arbeit nur Verwandlung der vorhandenen Kräfte. Man unterschätze die Arbeit des organischen Lebens nicht. Ein einziger Morgen Hochwald verrichtet allein durch die Wasserverdunstung in 120 Sommertagen eine Arbeit, die der unausgesetzten Arbeit von 1460 Pferden gleich ist. In den chemischen Processen, welche die Umwandlung der Nahrung in organische Substanz bewirken, verrichtet derselbe Hochwald eine Arbeit, welche 11 Pferde dieselbe Zeit hindurch in Thätigkeit erhalten würde. Nur um das Wasser in die Gipfel der Bäume emporzupumpen, müßte ein Pferd täglich mehr als eine Stunde arbeiten. Wenn das die Arbeit von Pflanzen ist, um wie viel größer muß doch die der Thiere sein! Spazierengehen pflegt man sonst nicht gerade eine Arbeit zu nennen, und doch verrichtet ein Mensch während eines einstündigen Spazierganges durch die Fortbewegung der Körperlast, durch die erhöhte Thätigkeit des Herzens, die kräftigere Leistung der Athemmuskeln, die vermehrte Wärmeerzeugung eine Arbeit, die sein gewöhnliches Arbeitsmaß um mehr als 132,000 Kilogrammometer übersteigt, d. h. um eine Arbeit, die einer Hebung von 132,000 Kilogrammen auf die Höhe eines Meters gleich ist, oder welche die halbstündige unausgesetzte Arbeit eines Pferdes in Anspruch nehmen würde. Daraus läßt sich ermessen, welche Arbeit vollends ein Mensch, ohne es zu wissen, in seiner ganzen

Lebenszeit durch den Aufbau und beständigen Neubau seines Körpers auszuführen hat.

So weit die Anziehung reicht, so weit das Lichtmeer seine Wellen rollt, reicht das Gebiet der Physik. Auch das Leben setzt ihm keine Grenze. Was sich bewegt, steht unter dem Gesetze wechselwirkender, sich verwandelnder Kräfte.

Alphabetisches Inhaltsverzeichniß.

A.

Aberration des Lichts 216.
Ablenkung des Bleiloths 84.
Abplattung der Erde 64.
Absorption der Gase 142.
— der Wärmestrahlen 283.
— des Lichts 343, 608.
Abweichung, magnetische 426.
Accord 294.
Achromatismus 342.
Adhäsion 113.
Aequivalent der Kraft 524.
—, mechanisches, der Wärme 530.
—, thermisches 581.
Aether 587.
Aggregatzustände 9, 548.
—, Veränderung durch d. Wärme 538.
Allotropische Umwandlungen 612.
Ampère'sches Gesetz 491.
—sche Theorie 498.
Anker 422.
Anziehung, allgemeine 11.
Anziehung und Abstoßung, magnetische 418.
— und Abstoßung, elektrische 435.
Aräometer 107.
Arbeit 515.
— des organischen Lebens 675.
Archimedische Schraube 32.
Archimedisches Princip 109.
Armirung 422.
Astatische Doppelnadel 491.
Athermane Körper 283.
Atmosphäre 123.
—, elektrische 447.
Atmosphärendruck 555.
Atmosphärische Luft, Bestandtheile derselben 162.
— Eisenbahn 151.
— Maschine 566.
Auge 667.
—, zusammengesetztes 668.
—, menschliches 669.
Augenlose Thiere 667.
Ausdehnung durch die Wärme 251, 257, 551.
— des Wassers 260.
Ausdehnungskraft 8.
Ausflußgeschwindigkeit 99.
Auslader, elektrischer 456.
Außerordentlicher Strahl 395.
Axendrehung der Erde 64.

B.

Ballistische Curve 60.
Barlow'sches Rädchen 620.
Barometer 123.
Batterie, elektrische 455.
—, galvanische 476.
Beleuchtung 218, 331.
Berg- und Thalwinde 271.
Beugung 179.
— der Schallwellen 202.
— der Wärme 286.

Beugungserscheinungen, farbige, des Lichts 364.
Bewegung 3.
—, beschleunigte 19.
Bild 221.
—, physikalisches u. geometrisches 228.
Blasinstrumente 315.
Blasrohr 140.
Blau des Himmels 334.
Blitz 468.
Blitzableiter 469.
Blitzrad, Neef'sches 482.
Bodendruck in Flüssigkeiten 96.
Brahma'sche Presse 98.
Brechung 201.
— des Lichts 230.
— der Wärme 286, 384.
—, doppelte 393.
Brechungsopponent 231.
Brechungsvermögen 340.
Brechungswinkel 230.
Breguet'sches Thermometer 610.
Brennglas 286.
Brennpunkt 225.
Brennspiegel 281.
Brennweite 226.
Brückenwage 43.
Bunsen'sche Batterie 479.
Büschel, elektrisches 439.

C.

Calorimeter 659.
Calorimotor 478.
Calorische Maschine 576.
Camera obscura 242.
Capillarität 114.
Centrifugalkraft 62.
Centrifugalmaschine 63.
Centrifugalregulator 571.
Centripetalkraft 62.
Chemie 3.
Chemische Strahlen 608.
Chemische Telegraphen 638.
Chemische Theorie der Kette 651.
Chemische Wirkungen der Wärme 592.
— — des Lichts 594.
— — der Elektricität 647.
Chronometer 259.
Circularpolarisation 406.
Coërcitivkraft 421.
Cohäsion 113.
Combinationstöne 312.
Communicirende Gefäße 97.
Commutator 505.
Compaß 425.
Compensationspendel 76.
Complementäre Farben 330.
Concavlinse 246.
Concavspiegel 223.
Condensator, elektrischer 460.
Conductor der Elektrisirmaschine 436.
Consonanz 293, 302.
Contacttheorie 651.
Convexlinse 241.
Convexspiegel 228.
Copiertelegraphen 638.
Coulomb'sche Drehwage 447.

D.

Daguerrotypie 597.
Dampf, gesättigter 554.
—, überhitzter 556.
—, Dichtigkeit desselben 555.
—, latente Wärme desselben 542.
—, Spannkraft desselben 553.
Dampfbildung 553.
Dampfelektrisirmaschine 534.
Dampfmaschine 560.
—, einfachwirkende 566.
—, doppeltwirkende 567.
—, gekuppelte 574.
—, Nutzeffect derselben 575.
Daniell'sche Kette 479.
Declination, magnetische 426.
Diagonalkraft 21.
Diamagnetismus 423.
Dianenbaum 486.
Diathermane Körper 283.
Dichtigkeit 105.
— der Erde 84.
Differentialthermometer 256.
Diffusion der Gase 163.
Digestor 560.
Dissonanz 293, 302.
Donner 470.
Doppelfenster 279.
Doppelspath 393.
Doppelte Brechung 393.

Doppelte Brechung, Theorie derselben 408.
Drehungsaxe, Unveränderlichkeit derselben 90.
Drehungsgesetz der Winde 272.
Drehwage 85.
—, Coulomb'sche 447.
Dreiklang 294.
Drosselklappe 571.
Druckpumpe 138.
Drucktelegraphen 636.
Dubois-Reymond, Untersuchungen üb. thierische Elektricität 655.
Durchwärmige Körper 283.

E.

Echo 198.
Eigenschaften, allgemeine, der Körper 7.
Einfallswinkel 230.
Einheit der Stromstärke 643, 648.
— des Widerstandes 643.
Eisbereitung, künstliche 545.
Elasticität 10, 183.
— der Luft 132.
— der Dämpfe 554.
Elektricität 432.
—, positive und negative 435.
—, freie und gebundene 450.
—, atmosphärische 464.
—, thierische 654.
— der Flamme 653.
— durch Reibung 533.
— durch Wärme 588.
— durch chemische Thätigkeit 652.
—, Geschwindigkeit derselben 461.
—, Wirkungen derselben 456.
—, mechanische Wirkungen ders. 615.
Elektricitätsverlust 445.
Elektrische Fische 657,
Elektrischer Funke 438.
Elektrisches Licht 483, 507, 641.
Elektrische Pistole 440.
Elektrisirmaschine 436.
Elektrochemische Theorie 647.
Elektromagnete 495.
Elektromagnetismus 490.
— als Triebkraft 620.
Elektromagnetischer Telegraph 628.
Elektrometer und Elektroskope 459.
Elektromotoren 474.
Elektromotorische Kraft 474, 494.
Elektrophor 451.
Elektrotonischer Zustand 657.
Element, galvanisches 474.
Elmsfeuer, St. 471.
Emanationstheorie 208.
Empfindung als Umwandlung phys. Bewegungen 673.
Endosmose 132.
Erdmagnetismus 425.
Ergänzungsfarben 330.
Erhaltung der Kraft 521.
Erscheinung 4.
Eustachische Trompete 665.
Expansionsmaschine 575.
Experiment 75.
Extrastrom 502.

F.

Fähre, fliegende 23.
Fall 57.
Fallgesetz 57.
Fallschirm 161.
Fallversuche 65.
Falsetstimme 321.
Faraday's schweres Glas 646.
Farben 324.
—, natürliche 343.
—, complementäre 330.
— dünner Blättchen 345.
— glühender Körper 344.
Farbenringe, Newton'sche 349.
—, Nobili'sche 487.
Farbenspectrum 328.
Farbenzerstreuung 327, 339.
Fata Morgana 237.
Federkraft 10.
Fernrohr 245.
Feuerprobe 264.
Feuerspritze 139.
Fische, elektrische 657.
Flageolettöne 301.
Flasche, elektrische 453.
Flaschenzug 51.
Fliegen 153.
Fliehkraft 62.
Fließende Bewegung 101.

Flugrad, elektrisches 443.
Fluorescenz 369.
Fluorescenztasche 377.
Flüssige Körper 93.
Flüssigkeitsdruck 96.
Foucault's Beweis für die Axendrehung der Erde 91.
Fraunhofer'sche Linien 352.
Fresnel'sche Linsen 242.
— Interferenzstreifen 363.
Funke, elektrischer 438.
—, —, Dauer desselben 462.
—, —, Farbe desselben 612.
Fußpfund 516.

G.

Gang, menschlicher 88.
Galvanische Kette 474.
Galvanisches Tönen 615.
Galvanisirtes Eisen 488.
Galvanismus 471.
—, Wirkungen desselben 482.
Galvanometer 492.
Galvanoplastik 648.
Gase, Verdichtung derselben 144, 557.
—, specifisches Gewicht derselben 152.
—, specifische Wärme derselben 580.
Gehörknöchelchen 664.
Gehörorgan 663.
Geißler'sche Röhren 377, 507.
Geräusch 289.
Geruch, elektrischer 441.
Geschwindigkeit 13.
— der Elektricität 461.
— des Lichts 214.
— des Schalles 190.
Getriebe 55.
Gewicht 11, 106.
—, specifisches 105.
—, —, fester Körper 106.
—, —, flüssiger Körper 107.
—, —, der Gase 152.
Gewichtsverlust in Flüssigkeiten 104.
Gewitter 466.
Glanz 234.
Glas- und Harzelektricität 435.
Glaskörper 671.
Gleichgewicht 15.
—, labiles 17.
Gleichgewicht, stabiles 16.
Glockenspiel, elektrisches 442.
Goldblattelektroskop 459.
Golfstrom 265.
Goniometer 222.
Gravitation 11, 72.
Größe der Kraft 18.
Grove'sche Batterie 479.
Grundeisbildung 261.

H.

Haarröhrchenanziehung 114.
Hahnluftpumpe 149.
Halbschatten 218.
Hammer, elektromagnetischer 503.
Hare's Calorimotor 478.
Harmonische Obertöne 307.
Haspel 53.
Hauchbilder 605.
Hebel 37.
—, einarmiger 39.
—, krummarmiger 41.
Hebelgesetz 38.
Heber 135.
Heberbarometer 126.
Heliostat 223.
Helmholtz, Messung der Nervengeschwindigkeit 674.
Hemmung 79.
Hero's Maschine 561.
Hindernisse der Bewegung 14.
Hochdruckmaschine 573.
Höfe 366.
Höhenmessung, barometrische 126.
— durch Kochthermometer 558.
Hohlspiegel 223.
Hören zur Nachtzeit 195.
Hörrohr 204.
Hufeisenmagnet 422.
Hydraulische Presse 98.
Hydroelektrisirmaschine 534.
Hydrooxygengasmikroskop 244.
Hydrostatisches Paradoxon 96.
Hypothese 5.
Hypsothermometer 558.

I.

Inclination, magnetische 426.
Inclinatorium 426.

Induction, elektrische 500.
—, magnetische 508.
Inductionsströme 500.
Instrumente, musikalische 312.
Intensität des Lichts 608.
— des Schalls 193.
Interferenz der Wellen 172.
— des Schalles 205.
—, farbige, des Lichts 362.
— des polarisirten Lichts 411.
Intervalle, musikalische 293.
Iris 670.
Isodynamische Linien 429.
Isogonische Linien 428.
Isoklinische Linien 428.
Isolirschemel 439.
Isolirung, elektrische 434.

K.

Kaleidoskop 221.
Kältemischungen 540.
Kalte Tage 278.
Kammerton 300.
Kammrad 55.
Kehlkopf 320.
Keil 26.
Kepler'sche Gesetze 72.
Kernschatten 218.
Kilogrammometer 516.
Klangfarbe 304.
Klangfiguren 314.
Kochthermometer 558.
Komma 297.
Kraft 5.
Krafterſparung 37.
Kräfteparallelogramm 20.
Kreisel 90.
Kryophor 543.
Künstliche Eisbereitung 545.

L.

Labyrinth 664.
Land- und Seewinde 271.
Längsschwingungen 186.
Last 37.
Latente Wärme 539.
— — der Dämpfe 543.
Latentes Licht 605.
Laterna magica 243.
Lebendige Kraft 517.
Leidenfrost'scher Versuch 263, 544.
Leitung, elektrische 433.
— der Wärme 262.
Leitungswiderstand 494.
Lenoir'sche Gasmaschine 441.
Leuchtsteine 379.
Leuchtthürme 224, 241.
Leydener Flasche 453.
Libellen 95.
Licht 206.
—, Fortpflanzung desselben 213.
—, elektrisches 483, 507, 641.
—, unsichtbares 605.
—, Intensität desselben 608.
—, chemische Wirkungen desselb. 594.
—, magnetische Wirkungen desselben 592.
Lichtempfindung, abhängig von der Lichtquelle 586.
Lichtenbergische Figuren 444.
Lichterzeugung durch Wärme 583.
Lichtstrahl 217.
Lichtwellen, Messung und Zählung derselben 351.
Liebig'sche Krüge 142.
Linse des Auges 671.
Linsen 241.
Locomotive 574.
Longitudinalschwingungen 186.
Loupe 244.
Luftballon 157.
Luftdruck 130.
Luftelektricität 466.
Luftpumpe 148.
Luftschwingungen 187.
Luftspiegelung 235.
Luftströmungen 269.
Luftthermometer 556.
Luftverdichtung 141.
Luftverdünnung 147.

M.

Magdeburger Halbkugeln 148.
Magnet, natürlicher 418.
—, künstlicher 421.
Magnetelektrisirmaschine 509.

Magnetische Wirkungen der Elektricität 489.
— Wirkungen des Lichts 592.
Magnetismus 418.
—, Abhängigkeit desselben von der Wärme 591.
Magnetnadel 425.
Marcus, thermoelektrische Säule 591.
Mariotte'sches Gesetz 133.
Maschine 37.
Masse 11.
Maßflasche, elektrische 457.
Materie 7.
—, Erregung derselben durch Elektricität 611.
—, Erregung derselben durch das Licht 609.
—, Erregung derselben durch Magnetismus 614.
Mechanische Wirkungen der Elektricität 615.
— Wirkungen der Wärme 550.
Meeresströmungen 264.
Meereswellen 179.
Messung der Lichtwellen 351.
Metacentrum 110.
Metallthermometer 259.
Metallvegetation 486.
Mikrometerschraube 30.
Mikroskop 244.
Mischfarben 330.
Mittelkraft 21.
Mittönen 308.
Morse's Drucktelegraph 636.
Moser's unsichtbares Licht 605.
Motoren, elektromagnetische 623.
Mühlen 102.
Multiplicator 492.
Musik der Alten 303.
Muskelstrom 655.

N.

Nadeltelegraphen 629.
Natterer's Apparat 146.
Naturgesetz 4.
Naturlehre 3.
Natürliche Farben 343.
— Lichtstrahlen 408.
Nebentöne 301.
Neef'sches Blitzrad 482.
Neigung, magnetische 426.
Nervenleitung, Geschwindigkeit derselben 674.
Nervenstrom 656.
Netzhaut 670.
Newcomen's Dampfmaschine 564.
Newton'sche Farbenringe 349.
Nicholson's Flüssigkeitsmesser 108.
Nicol'sches Prisma 399.
Niederdruckmaschine 573.
Niepce's photographische Versuche 596.
Nobili'sche Farbenringe 487.
Nordlicht 647.
Normalmaß 258.

O.

Obertöne 307.
Octave 290.
Oersted'scher Fundamentalversuch 490.
Ohr 663.
— des Dionys 199.
Ordentlicher Strahl 394.
Ozon 441.

P.

Papierdrache 24.
Papinianischer Topf 560.
Parabel 59.
Parallelogramm der Kräfte 20.
Passate 272.
Pendel 74.
— als Maß der Schwere 82.
Pendelgesetze 75.
Pendeluhr 77.
Pfeifen 316.
Pferdekraft 516.
Phosphorescenz 378.
Phosphoroskop 380.
Photographie 596.
Photometer 219.
Physik 3.
Physiologische Wirkungen der Elektricität 455, 482.
— Wirkungen des Inductionsstroms 506.
Pistole, elektrische 440.

Pneumatisches Feuerzeug 532, 580.
Polarisation des Lichts 396.
—, farbige 401.
— gepreßter Gläser 407.
— der Wärme 413.
—, Theorie derselben 408.
Polarisationsapparat 400.
Polarisationsebene, Drehung derselben durch Magnete 646.
Polarisationswinkel 398.
Polarisirung, elektrische 493.
Pole, magnetische 418.
—, —, der Erde 427.
— der Volta'schen Säule 477.
Prisma, Nicol'sches 399.
Prismen 238.
Probescheibchen, elektrisches 445.
Pulshammer 559.
Pumpen 136.
Pupille 671.
Puppentanz, elektrischer 442.
Pyrometer 257.

Q.

Quarte 294.
Querschwingungen 185.
Quinte 492.

R.

Rad 54.
—, gezahntes 55.
Reflexion 175.
—, totale 202, 234,
Regenbogen 335.
Regenbogenhaut 670.
Reibung 15.
— als Wärmequelle 528.
Reif 282.
Reifen 90.
Residuum, elektrisches 459.
Resonanz 308.
Resonator 307, 310.
Richtungsrolle 50.
Ritchie's rotirend. Elektromagnet 621.
Rolle 50.
Rostpendel 77.
Rotation, elektrische 619.
—, magnetische 620.
Rotation der Erde 64.
— —, Einfluß derselben auf den Fall 66.
— der Erde, Einfluß auf die Schwerkraft 69.
Rotationsmagnetismus 644.
Rotationsmaschine, elektromagn. 509.
Rückfälle der Kälte 276.
Ruhmkorff'scher Apparat 503.
Rumford'scher Versuch 529.

S.

Saccharometer 406.
Sammellinsen 246.
Saugheber 135.
Saugpumpe 136.
Säule, trockne 481.
—, Volta'sche 476.
Savery's Dampfmaschine 563.
Schall 189, 289.
—, Geschwindigkeit desselben 190.
—, Leitung desselben 192.
—, Stärke desselben 193.
Schallröhren 204.
Schallstörungen 195.
Schalltäuschungen 204.
Schatten 217.
Schieberventil 568.
Schiefe Ebene 25.
— —, Fall auf derselben 72.
Schiffsschraube 34.
Schlagweite 458.
Schmelzpunkt 538.
Schnecke 666.
Schnellwage 42.
Schönbein's Theorie der Kette 652.
Schraube 27.
— ohne Ende 31.
Schwere 11, 72.
Schwerpunkt 15.
Schwimmen 109.
—, künstliches 112.
Schwingungsebene, Unveränderlichkeit derselben 90.
Schwingungspunkt 75.
Schwingungszahlen der Töne 293.
— der Farben 352.
Schwungkraft 62.

Schwungrad 571.
Secundenpendel 82.
Segel 22.
Segner'sches Wasserrad 104.
Sehorgan 667.
Seifenblase 345.
Seitenkräfte 21.
Senkwage 107.
Sextant 222.
Shehallian-Experiment 84.
Siedepunkt 538.
—, abhängig v. Barometerstande 558.
Siemens u. Halske's Telegraphen 634.
Singen des siedenden Wassers 291.
Sinnesempfindung 662.
Sirene 291.
Solenoid 497.
Sömmering's Telegraph 625.
Sonnenmikroskop 244.
Spannkraft der Dämpfe 553.
Spannung, elektrische 446.
Spectralanalyse 354.
Spectralapparat 357.
Spectrum 328.
Sphäroidischer Zustand 263.
Sphärometer 30.
Spiegel, ebene 220.
—, concave 223.
—, convexe 228.
Spiegelkammer 221.
Spiegeltelescop 248.
Sprachrohr 204.
Springbrunnen 100.
Spritzen des Silbers 143.
Stechheber 134.
Steinheil's Telegraph 629.
Stereoskop 672.
Stimmbänder 320.
Stimme, menschliche 319.
Stimmung 299.
Stirnrad 55.
Stoff 7.
Störungen, magnetische 430.
Stoß 19.
— elastischer Körper 183.
— fließenden Wassers 101.
— der Luft 160.
—, schiefer 185.
Stöße 205, 311.
Strahl 93.
Strom, elektrischer 461.
Stromstärke 648.
Stromunterbrecher 503.
Stromwender 505.

T.

Talbotypie 601.
Tangentialkraft 62.
Tariren 45.
Tartinische Töne 312.
Taschenuhr 80.
Telegraphie, elektrische 624.
Telephon 616.
Telescop 248.
Temperatur 253.
—, gleichschwebende 297.
Terz 294.
Thau 282.
Theilbarkeit 8.
Theilmaschine 30.
Thermanisirung der Wärmestrahlen 386.
Thermoelektrische Säule 590.
Thermoelektrische Ströme 587.
Thermometer 252.
—, elektrisches 456.
Thermomultiplicator 590.
Thierische Elektricität 654.
— Wärme 660.
Thilorier's Apparat 144.
— Versuch 549.
Ton 289.
Tönen, galvanisches 615.
Tonhöhe 290.
Tonkunst 299.
Tonleiter, diatonische 294.
—, chromatische 296.
Tonstärke 291.
Torricelli'scher Versuch 124.
Torsion 447.
Tragfähigkeit der Schiffe 110.
Traghebel 40.
Trägheit 13.
Transversalschwingungen 185.
Trevelyan'scher Apparat 643.
Trilling 55.
Trogapparat 477.
Trommelfell 664.

Tropfen 93.
Tropfen- und Blasenbildung 116.
Turbine 104.
Turmalin, polarisirende Eigensch. 398.
Tyndall'sches Experiment 642.
Typotelegraphen 639.

U.

Ueberviolette Strahlen 368.
Uhren, elektrische 640.
—, Pendel-, 77.
Umfallspunkt 110.
Undulationstheorie 210.
Undurchdringlichkeit 8.

V.

Variationen, magnetische 430.
Ventilluftpumpe 149.
Verbreitung der Elektricität 444.
Verbrennungswärme 659.
Verdampfung 553.
Verdichtung der Dämpfe und Gase 144, 557.
— der Dämpfe in porösen Körpern 164.
Verdichtungswellen 185.
Verdunstung 541.
Verdunstungskälte 542.
Vergoldung, galvanische 650.
Vertheilung, elektrische 450.
—, magnetische 420.
Vibrationstheorie 210.
Vierwegehahn 568.
Volta'sche Säule 476.
Voltameter 648.
Vorsselman de Heer, elektrischer Telegraph 626.

W.

Wage 41.
—, Empfindlichkeit derselben 45.
Wägung der Erde 83.
Wärme 250.
—, latente 539.
—, specifische 578.
—, thierische 660.
—, chem. Wirkungen derselben 592.
—, mechan. Wirkungen derselben 550.
— und Licht, Wechselbeziehungen 582.
Wärmeäquivalent 530.
Wärmecapacität 578.
Wärmeeinheit 531.
Wärmentwickelung durch Druck 532
— durch Elektricität 642.
— durch Licht 584.
— durch Magnetismus 644.
— durch chemische Processe 659.
— durch Reibung 528.
Wärmefarben 386.
Wärmeleitung 262.
—, durch Magnetismus verändert 646.
Wärmespectrum 387.
Wärmestoff 251.
Wärmestrahlung 280.
Wärmetheorie, mechanische 547.
Wärmewellen, Messung derselben 389.
Wasser, Dichtigkeitserscheinungen desselben 260, 550.
Wasserdampf, Dichtigkeit desselb. 556.
—, Spannkraft desselben 555.
Wasserrad, Segner'sches 104.
Wasserräder, oberschlächtige 102.
—, unterschlächtige 103.
Wasserschraube 33.
Wasserspiegel 95.
Wasserwage 95.
Wasserzersetzung, elektrische 484.
Watt'sche Dampfmaschine 566.
Watt'sches Parallelogramm 569.
Weber'sche Wellenrinne 173.
Wechselwirkung der Kräfte 523.
Wecker 631.
Weißes Licht 329.
Welle, fortschreitende 168.
—, stehende 177.
Wellenbewegung 166.
Wellenlänge der Lichtstrahlen 351.
— der Wärmestrahlen 389.
Wellrad 53
Wetter 274.
Wetterglas 128.
Wetterleuchten 470.
Wind 270.
—, elektrischer 443.
Windbüchse 140.
Windmühlen 22.
Winkelhebel 41.
Wollaston'scher Trogapparat 477.

Wurfbewegung 39.
Wurfhebel 40.

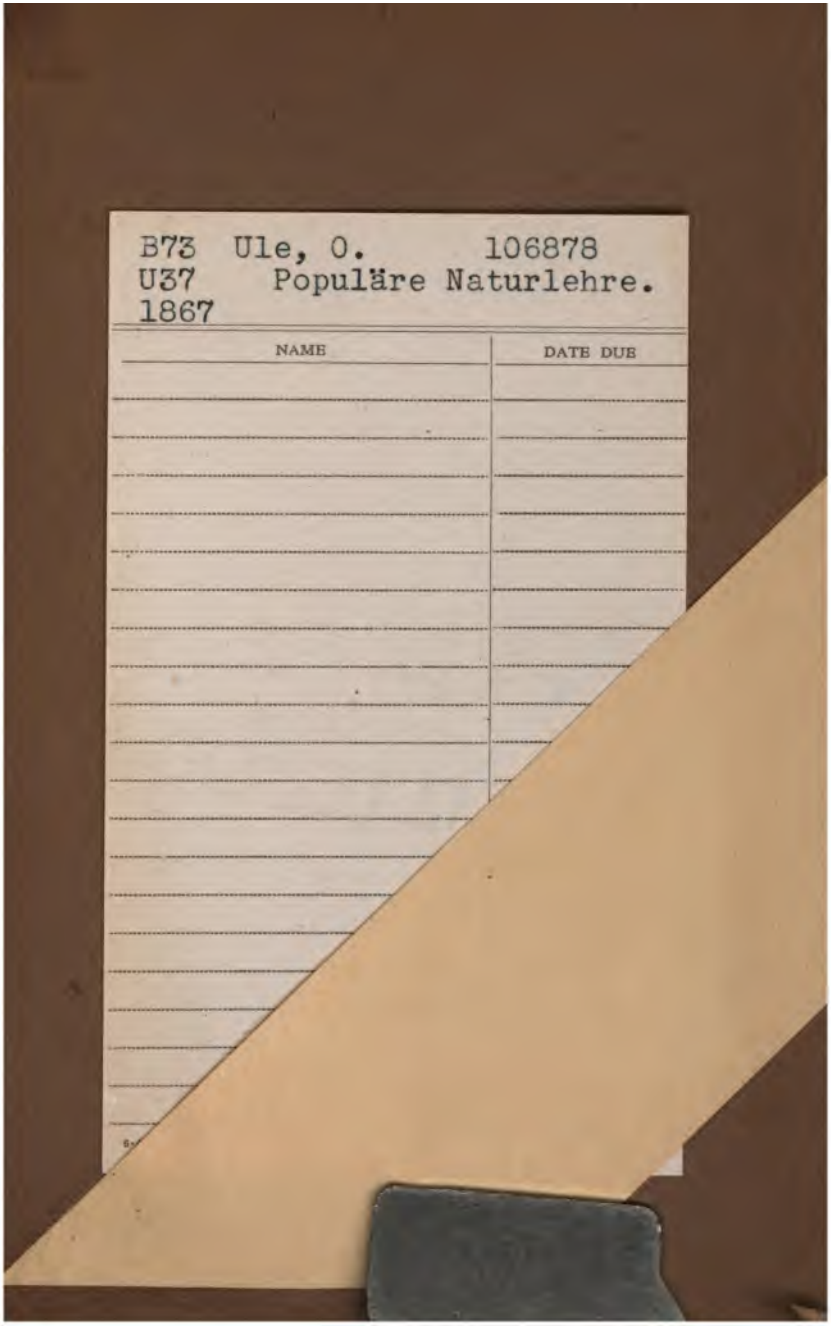
Z.

Zahnrad 55.
Zambonische Säule 481.
Zauberlaterne 243.
Zeigertelegraphen 631.
Zeigerwage 42.
Zerstreuung des Lichts 327, 339.
— der Wärme 387.
Zerstreuungslinsen 246.
Zerstreuungsvermögen 340.
Ziehkraft 62.
Zitterrochen 657.
Zungenpfeifen 318.
Zurückwerfung 175.
— der Lichtstrahlen 219.
— der Wärmestrahlen 281.
Zusammenhangskraft 9.
Zusammenziehung des ausfließenden Strahls 100.

Druckfehler.

S. 30 Z. 6 v. o. lies: Füße statt Füßen.
„ 46 „ 8 v. u. l. vor ſcheinen: zu ſein.
„ 58 „ 18 v. o. l.: =g ſt. =2g.
„ 123 „ 17 v. o. l.: Luftmeers ſt. Luſmeers.
„ 143 „ 1 v. u. l.: oder luftförmig ſt. oder feſt.
„ 208 „ 2 v. u. l.: Kanonenkugel ſt. Kanonkugel.
„ 456 „ 18 v. o. l.: Entladung ſt. Ladung.

Druck von Otto Wigand in Leipzig.


B73 Ule, O. 106878
U37 Populäre Naturlehre.
1867

NAME | DATE DUE